குவாண்டம் எந்திரவியல் தொடக்கப்
-படிகள். ரைட்னிக் (வி.)

த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண் — 705

குவான்டம் எந்திரவியல் தொடக்கப்படிகள்

ஆசிரியர்

வி. ரைட்னிக்

ருஷ்ய மொழியிலிருந்து ஆங்கிலத்தில்
மொழிபெயர்த்தவர்

ஜார்ஜ் யான்கோவ்ஸ்கி

தமிழாக்கம்

த. கமலக்கண்ணன்,
முதல்வர், அரசினர் கலைக்கல்லூரி, சென்னை.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—May, 1976

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 705

ABC's OF QUANTUM MECHANICS

V. Rydnik

Translated into English from Russian Language by
George Yankovsky

Translated into Tamil by
D. Kamalakkannan

Price Rs. 5-95

Published by the Tamilnadu Textbook Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

Printed out of the Paper allotted by the Government of India.

Printed by
MEKALA ACHAGAM,
1-B, Kandappa Gramani Street,
Madras-600 007

பதிப்புரை

குவாண்டம் எந்திரவியல் தொடக்கப் படிகள் என்ற இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 705ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 740 நூல்கள் வெளி வந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு, கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் 'மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளி யிடும் திட்டத்'தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

மேலாண்மை இயக்குநர்
தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

பொருளடக்கம்

பக்கம்

முதுபழங் கொள்கை இயந்திரவியலிலிருந்து குவான்டம் இயந்திரவியல்வரை

புதிய கொள்கையின் முதற் படிகள்

போர் கொள்கையிலிருந்து குவான்டம் கொள்கைவரை

அணுக்கள், மூலக்கூறுகள், படிகங்கள்

அணுக்கருவிற்குள்

அணுக்கருவிலிருந்து அடிப்படைத் துகள்கள்வரை

குவான்டம் இயலிலிருந்து... ?

முதுபழங் கொள்கை இயந்திரவியலிலிருந்து குவான்டம் இயந்திரவியல்வரை

முன்னுரை

கடந்த 25 ஆண்டுகளாக அணு ஆற்றல், கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள், குறை கடத்திகள், அடிப்படைத் துகள்கள், மேசர்கள் மற்றும் லேசர்கள் இவற்றைப்பற்றி அறிந்து வருகிறோம். இவை யனைத்தும் 20ஆம் நூற்றாண்டின் இயற்பியலின் வளர்ச்சி யாகும். இந்த 20ஆம் நூற்றாண்டில் விஞ்ஞானம் (அறிவியல்) வியப்பூட்டும்வண்ணம் வளர்ந்து வருகிறது. ஒவ்வொரு புதிய கருத்தும் ஒரு புதிய பாதைக்கு வழிகாட்டியாக அமைகிறது. இந் நூற்றாண்டில் விஞ்ஞானம் (அறிவியல்) புதிய இளமைப் பொலி வோடு விளங்குகிறது. மற்றத் துறைகளைக்காட்டிலும் இயற்பியல் துறை மிகவும் வேகமாக வளர்ந்து வருகின்றது. நாம் பல துறை களையும் நன்கு அறிய முற்படும்பொழுது நமக்கேற்படும் தொய்வு, நமது முயற்சியை அதிகரிப்பதற்கேயாகும்.

இயற்கை அன்னையின் இரகசியங்களையறிய இயற்பியலில் அதிகச் சக்திவாய்ந்த கருவிகள் தேவைப்படுகின்றன. மேலும், மிக நுட்ப மான கருவிகளைக்கொண்டு பல கருத்துகளை நிரூபிக்கும் சோதனை களைச் செய்யவேண்டியிருக்கிறது. இயற்பியல் ஆய்வுக்கூடத்தில் பல அறிவியல் மேதைகள் சோதனைகள்மூலம் தாம் பெற்ற முடிவுகளைப் பரிசீலிக்கின்றனர். மேலும், அவற்றிற்கான விளக் கங்களைக் கூறமுற்படுகின்றார்கள். இதில் எவ்வித இடையூறும் தோன்றுவதில்லை. இந்த விளக்கங்களின்பொழுது பல சிறந்த இயற்பியல் கொள்கைகள் உருவாகின்றன. இயற்பியலில் இன்று மிகவும் பயனுள்ளவகையில் சார்புகொள்கை மற்றும் குவான்டம் இயந்திரவியல் ஆகிய இரண்டும் பாவொளிபோல் விளங்குகின்றன.

குவான்டம் இயந்திரவியல் முதன்முதலில் 1900ஆம் ஆண்டு டிசம்பர்த் திங்கள் 17ஆம் நாளன்று வெளியிடப்பட்டது. ஜெர்மன்

அறிவியல் மேதையான மாக்ஸ் பிளாங்க் என்பவர் பெர்லின் அறிவியல் அகடமி இயற்பியல் குழுவின் கூட்டத்தில் வெப்பக்கதிர் வீச்சலுக்கான கொள்கையை விவரிக்கும்பொழுது எழுந்த சில முரண்பாடுகளைத் தவிர்க்கக் குவான்டம் கொள்கையை உருவாக்கினுர். அறிவியலில் அவ்வப்பொழுது சில சிக்கல்கள் தோன்றுவது மிகவும் இயல்பானதொன்ருகும். அறிவியல் மேதைகள் அச் சிக்கல்களை ஆராய்ந்து அவற்றை விளக்குகிருர்கள். இவ் வகையில் பார்க்கும்பொழுது 'மாக்ஸ் பிளாங்க்' கொடுத்த விளக்கம் மிகவும் சிறப்புடையதாகவும் ஒரு புதிய திருப்பத்தைக் கொடுப்பதாகவும் அமைந்தது. ஏனெனில், அது பிற்காலத்தில் அறிவியல் வளர்ச்சிக்கு ஒரு முக்கியக் காரணமாக விளங்கலாயிற்று. ஒரு சிறிய வித்திலிருந்து தோன்றிய மரம்போல, 'மாக்ஸ் பிளாங்க்' உருவாக்கிய இக் குவான்டம் கொள்கையிலிருந்து அறிவியலில் பல பெரும் வளர்ச்சிகள் ஏற்பட்டன. இக் கொள்கை கற்பனைக்கெட்டாத கண்டுபிடிப்புகளுக்குக் காரணமாயிற்று. பிளாங்க் கருத்தின் அடிப்படையில் தோன்றிய குவான்டம் இயந்திரவியல் (துகள்கொள்கை) முற்றிலும் புதியதோர் அறிவியல் உலகத்தையே தோற்றுவித்தது. இப் புதிய அறிவியல் உலகத்தில் மிகச்சிறிய பொருள்களான அணுக்கள், அணுக்கருக்கள் மற்றும் பல அடிப்படைத் துகள்களைப் பற்றி யறிகிருேம்.

புதிய உலகத்தின் தொகுப்பு

20ஆம் நூற்ருண்டிற்கு முன்னர் மக்களின் அணு பற்றிய அறிவு ஒரு கற்பனைக் கருத்தாகவே இருந்தது. பகுத்தறியும் ஆற்றல்பெற்ற மனிதன் வெகுகாலத்திற்கு முன்பே அணுவைப் பற்றியக் கருத்தொன்றைப் பெற்றிருந்தான். பல நூற்ருண்டுகளுக்குப் பின்னர்தான் அக் கருத்துகள் உண்மையென நிறுவப்பட்டன. பல்வேறு புதிய இடங்களைக் கண்டறிவதற்கு முன்பே மனிதன், அவ் விடங்களில் மனிதர்களும் மிருகங்களும் வசித்து வந்ததை நம்பினுன். அதேபோல் மிகச் சிறிய துகள்களைப்பற்றிய கருத்தையும் அவற்றைக் கண்டறிவதற்கு முன்பே பெற்றிருந்தான்.

நாம் இச் சிறிய துகள்களைத் தேடியலைய வேண்டியதில்லை. நம்மைச் சுற்றியுள்ள எல்லாப் பொருள்களிலும் அவை நிறைந்திருக்கின்றன.

பண்டைக் காலத்தில், உலகம் உருவமற்ற ஏதோவொரு பொருளினுல் இயற்கையால் படைக்கப்பட்டதாகக் கருதப்பட்டு வந்தது. பிற்காலத்தில் அதனைப்பற்றி ஆராய்ந்தபொழுது

உலகம் பலவகைப்பட்ட பொருள்களால் ஆக்கப்பட்டதாக அறிந்தனர். சிறிய கற்களைக்கொண்டு பெரிய வீடுகள் உருவாக்கப்படுவதுபோல உலகமும் சிறிய கற்களால் ஆக்கப்பட்டதா? எனில், அந்தக் கற்கள் யாவை ?

காற்றினாலும், நீரினாலும், எரிமலை விசையாலும் மலைகள் சிதறடிக்கப்பட்டுப் பாறைகள் ஏற்பட்டன. அப் பாறைகள் நாளடைவில் சிறுசிறு கற்களாகி, ஆயிரக் கணக்கான ஆண்டுகளில் அவை நொறுக்கப்பட்டு மணலாக மாறின. இவ்வாறு பொருள் நுண்பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுவதற்கும் ஓர் எல்லை உண்டு என்று பழம் பெரும் அறிவியல் மேதைகளான எபிக்யூரஸ் (Epicurus), டிமாக்ரிடஸ் (Democritus) ஆகியோர் கருதினர். மேலும், பிரிக்க முடியாத அளவுக்கு நுண்மையாக்கப்பட்ட துகள்களுக்கு 'அணுக்கள்' என்று பெயரிடப்பட்டது. கிரேக்க மொழியில் 'அணு' எனில் 'பகுக்க முடியாதது' எனப் பொருள்படும்.

அந் நாளில், அணுவின் தோற்றம் (அமைப்பு) பற்றி அறியப்படவில்லை. அணுக்கள் ஊடுருவ முடியாத திண்மக் கோளங்களோ என்ற ஐயப்பாடு எழுந்தது. மேலும், அணுக்கள் பல்வேறு வகைபட்டவைகளோ என்ற வினாவும் தோன்றியது. கிரேக்க நாட்டு அறிவியல் மேதைகள் சிலர், இந்த உலகத்தில் உள்ள எல்லாப் பொருள்களும், மொத்தத்தில் நான்குவகைத் தனிமங்களால் ஆக்கப்பட்டவை என்று கருதினர். இவ் வுலகம் நீர், நெருப்பு, காற்று, பூமி ஆகிய நான்கு தனிமங்களால் ஆனது என்றும் அவை யனைத்திலும் அணுக்கள் நிறைந்திருப்பதாகவும் அவர்கள் நம்பினார்கள்.

இத்தகைய தெளிவற்ற கருத்துடன் எந்த முன்னேற்றமும் அடைய வாய்ப்பில்லை என்று நினைக்கக்கூடும். இருப்பினும், இக் கருத்துகள் அறிவியல் வளர்ச்சிக்கு ஓரளவு உதவின. பலவகையான உண்மைகளை நாம் அறிந்துகொள்ளவேண்டியிருப்பதால், தொடக்கத்தில் அறிவியல் வளர்ச்சி பலதரப்பட்டதாகவே அமையும். அவ் வளர்ச்சியில் உண்மைகளைப்பற்றிய ஆழ்ந்த, அறிவுத் தெளிவு இருக்காது. எனவே, முதற் பணியாக நாம் பல்வேறு கருத்துகளுக்கிடையே நிலவும் தொடர்பைப் பெற வேண்டும். பிறகு, அக் கருத்துகள் உருவாகிய விதம்பற்றி ஆராய வேண்டும்.

அறிவியல் வளர்ச்சியற்ற அக் காலத்தில் அணுவைப்பற்றி இந்த அளவுக்கு அறிந்திருந்ததே ஒரு சிறப்பாகும். ஆனால், அது கற்பனையால் பெற்ற அறிவாக அமைந்தது. அதற்கான

சோதனைச் சான்றுகளோ, காட்சிப் பதிவுகளோ இல்லை. பின் வெகு காலத்திற்கு அறிவியல் மேதைகள் அணுபற்றி மறந்திருந்தனர். 19ஆம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில் மீண்டும் அணுவை நினைவு கூர்ந்தனர். அணுவை மற்றொருமுறை கண்டுபிடித்தனர் என்று கூடக் கூறலாம். இக் கண்டுபிடிப்பு இயற்பியல் மேதைகளால் செய்யப்படவில்லை. தொடக்கத்தில் அணுபற்றிய ஆராய்ச்சி செய்த பெருமை முழுவதும் வேதியியல் மேதைகளுக்குரியதாகும்.

கடந்த நூற்றாண்டின் தொடக்கம் சமூக வரலாற்றிலும் அறிவியல் வரலாற்றிலும் சிறப்புடைய காலமாகும். அக் காலத்தில் தான் நெப்போலியன், ஐரோப்பிய நாடுகளின் எல்லைகளை மாற்றியமைத்தார். அதே காலத்தில் நிலவிய சில ஆய்வுக் கூடங்களில் பொருள்களின் புதுமையான, பண்புகளை ஆராய்ந்தார்கள். அறிவியல் உண்மை என்று கருதப்பட்ட கருத்துகளைக்கூட மீண்டும் ஆராய்ந்தனர்.

இங்கிலாந்தில் 'யங்' (Young) மற்றும் ஃபிரான்சில் ஃப்ரஸ்னெல் (Fresnel) ஆகியோர் ஒளியின் அலைக்கொள்கைக்கு அடிக்கல் நாட்டினர். புதுமை எண்ணியல் (Modern Algebra) துறைக்கான வழிவகைகளை நார்வேயில் எபெலும் (Abel), ஃபிரான்சில் கலாய்சும் (Galois) செய்யத் தொடங்கினர். லவாய்சியர் (Lavoisier) என்ற ஃபிரான்சு நாட்டு அறிவியல் மேதையும், டால்டன் (Dalton) என்ற ஆங்கிலேய அறிவியல் மேதையும் பொருள்களின் தன்மைகளை ஆய்ந்தறிய வேதியியல்துறை மிகச் சிறந்த ஆற்றல் படைத்தது என்று விளக்கினார்கள். அப்பொழுதுதான் கணித மேதைகளும் இயற்பியல் மற்றும் வேதியியல் மேதைகளும் பல சிறந்த உண்மைகளைக் கண்டுபிடித்தனர். அவை 19ஆம் நூற்றாண்டின் பிற்பகுதியில் அறிவியல் வளர்ச்சிக்கு வழி வகுத்தன.

1815ஆம் ஆண்டில் ப்ரௌட் (Prout) என்ற ஆங்கிலேயர், பெரும்பாலான வேதியியல் வினைகளில், ஆக்கப்படாமலும் அழிக்கப்படாமலும் விளங்கும் மிகச் சிறிய துகள்கள் பங்கேற்கின்றன என்று கூறினார். அத் துகள்கள் அணுக்களேயாகும். அக் காலத்திலேயே லாகிராஞ்சி (Lagrange) என்று ஃபிரான்சு அறிவியல் மேதை பண்டை இயந்திரவியலுக்கு சிறப்பான முழு வடிவம் கொடுத்தார். ஆனால், அதில் அணுபற்றிய கூற்றுக்கே இடமில்லை.

பண்டை இயந்திரவியல் எனும் மாளிகை

அறிவியலில், எக் கருத்தும் தானே தனித்துத் தோன்றுது. நியூட்டன் தொடங்கிய பண்டை இயந்திரவியலிலிருந்து குவான்டம் இயந்திரவியல் பிறந்தது என்று கூறினால் அது மிகை.

யாகாது. பண்டை இயந்திரவியலைத் தோற்றுவித்த பெருமை நியூட்டனைமட்டும் சாராது. நியூட்டனோடு பல மேதைகளும் பண்டை இயந்திரவியலின் அடிப்படைக் கொள்கைகளை நிறுவுவதில் ஈடுபட்டனர். அவர்களில் லியோனர்டோ டா வின்சி, (Leonardo da Vinci), கலிலியோ கலிலீ (Galileo Galilei), டச்சுக் கணிதமேதையான சைமன் ஸ்டெவின் மற்றும் ஃபிரான்சுக்காரர் பிளய்ஸ் பாஸ்கல் (Blaise Pascal) ஆகியோர் சிலராவார்கள். பொருள்களின் இயக்கம்பற்றிய பல சிதறிய கருத்துகளைச் சீராகவும், பொதுவானதாகவும் ஒருங்கே தொகுத்த பெருமை நியூட்டனையே சாரும். 1687ஆம் ஆண்டு லண்டனில் நியூட்டன் எழுதிய 'இயற்கையறிவின் கணிதத்தத்துவம் (Philosophia Naturalis Principia Mathematica) என்ற நூல் பிரசுரிக்கப்பட்டபொழுது பண்டை இயந்திரவியல் தோன்றியது. அக் காலத்தில் எல்லா அறிவியல் துறைகளும் 'இயற்கையறிவு' (Philosophy) என்ற பெயருடன் விளங்கின. தமது நூலில், முதன்முறையாக நியூட்டன், பண்டை இயந்திரவியலின் அடிப்படைத் தத்துவங்கள் மூன்றை உருவாக்கினர். அவை, பிற்காலத்தில் நியூட்டனின் விதிகள் என்ற பெயருடன் பள்ளிக் குழந்தைகளுக்குப் பாடமாயின. நியூட்டனால் உருவாக்கப்பட்ட இந்தத் துறை அவருடைய மூன்று விதிகளைமட்டுமன்றி மேலும் மேலும் வளர்ந்து ஒரு முதிர்ச்சியுற்ற நிலைபெற்றது போலத் தோன்றுகிறது. மிகப்பெரிய விண்கோள்கள் முதல் மிகச்சிறிய துகள்வரை எண்ணற்ற பலவிதமான பொருள்களடங்கிய வெட்டவெளியில் இந்த அண்டமே சலனமின்றி அமைதி நிலைபெற்றிருந்த காலம் ஒன்று உண்டு. தான் உருவாக்கிய உலகத்தின் இயக்கத்தைக்காண விரும்பிய இறைவன் ஒரு விசை கொடுத்து உலகிற்கு உயிர் ஊட்டியதாகவும் அத்துடன் அவர் கடமை முடிவுற்றதாகவும் கூறுவர். அக் கணம் முதல் உலகத்தில் எல்லாப் பொருள்களும் குறிப்பிட்ட சில விதிகளுக்கிணங்க அசையவும், செயற்படவும் தொடங்கின. எண்ணிக்கையில் பலவாக இருப்பினும் இவ் விதிகளை நன்கு ஆராய்ந்தால் இறுதியில் அவை சில அடிப்படைக் கருத்துகளில் அடங்கும். அந்தச் சில அடிப்படைக் கருத்துகளில் நியூட்டனின் விதிகளும் இடம்பெறும்.

இக் கணம்முதல் தற்செயலான (எதிர்நோக்காத) நிகழ்ச்சிகளேயில்லை எனலாம். எல்லா நிகழ்ச்சிகளும் முன்னதாகவே வரையறுக்கப்பட்டவையாகும். மேலும், தன்னிச்சையான இயக்கம் இனியும் கிடையாது. சீரோடு இயங்கும் உலகில் எல்லா நிகழ்ச்சிகளும் ஒழுங்கான ஒருமைப்பாட்டோடு திகழ்ந்தன. நியூட்டனுக்குப்பிறகு ஒரு நூற்றாண்டுக்கும் மேலாக, நியூட்டனின் இயந்திரவியலை அடிப்படையாகக் கொண்ட இந்த

உலகின் சிறந்த ஒழுங்கோடு (Supreme orderliness) அமைந்த அமைப்பு எல்லா இயற்பியல் மேதைகளுக்கும் இசைந்ததாக அமைந்தது.

உலகின் சில புதிய கண்டுபிடிப்புகள், இந்தத் தத்துவத்தோடு மிகவும் பொருத்தமாக இசைவதுகண்டு அறிவியல் மேதைகள் அகமகிழ்வு கொண்டனர். ஆனால், இந் நிலை சில காலத்திற்கே தொடர்ந்தது. விரைவில், அறிவியல் மேதைகள், எந்த வொரு பழங்கொள்கையும் நீடித்து நிலைத்திருப்பதில்லை என்ற உண்மையை உணரத் தொடங்கினர். பழைய கருத்தோடு ஒவ்வாத புதிய உண்மைகள் வெளிவரத் தொடங்கின. 19ஆம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் நியூட்டனின் இயந்திரவியல் மிகவும் இக்கட்டான நிலையை யடைந்தது. அறிவியல் கூற்றுப்படி, எந்திரவியல் கண்டு பிடிப்புத் தத்துவம் அதாவது, அனைத்தையும் சோதனைகள்மூலம் கண்டறியும் வாய்ப்பு இயலாதவொன்று என்பது நாளடைவில் தெளிவாயிற்று. மேலும், உலகம் அவ்வளவு எளிமையானதன்று என்பதும் அது எல்லாக் காலத்திலும் கட்டுக்கடங்கியதன்று என்பதும் பெறப்படுகின்றன.

குவான்டம் இயந்திரவியல் புதிய கருத்துகளைக் கொண்டு வந்ததோடு, உலகியல் நிகழ்ச்சிகளுக்கு முற்றிலும் புதுமையான தொரு விளக்கத்தைத் தரவல்லதாகத் திகழ்ந்தது. முதன் முறையாக அறிவியல்துறையில் தற்செயலான (accidental) நிகழ்ச்சிகளுக்கு முழு மதிப்பளிக்கப்பட்டது. அறிவியல் மேதைகள், இதனால் அதிர்ச்சியடைந்தது அவர்கள் தவறல்ல. ஒருமித்த கண்டறிதலைப் (eternal determinism) பற்றி அவர்கள் ஒரு முடிவுக்கு வந்திருந்தனர். ஆனால், அவர்களது முடிவே சிதறுவது போலத் தோன்றலாயிற்று. மேலும், இந்த உலகம், முழுவதும் ஒழுங்கற்ற தன்மையுடையதாகத் தோற்றமளித்தது. நிகழ்ச்சிகள் யாவும், குறிப்பிட்ட சில விதிகளுக்குள்பட்டு விளங்கவில்லை. இயற்பியல்துறை அடைந்த இந்த (ஆழமான) அதிர்ச்சியிலிருந்து அது மீள்வதற்குச் சிறிது காலமாயிற்று.

கருத்தோவியம் கலைதல்

'அதிக ஆர்வம் பூனையைக் கொன்றது' என்ற பழங்கூற்று, தத்துவங்களுக்கும் பொருந்தும். ஒரு தத்துவம் மிகவும் சரியான தாகத் தோன்றியபொழுதும் அது பல உண்மைகளை விளக்கிக்கூற வல்லதாக இருப்பினும், அதில் கொண்ட ஆர்வம் காரணமாக அது மீண்டும் பரிசீலிக்கப்படுகிறது.

அறிவியல் முன்னேற்றத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் பல நிகழ்ச்சிகளின் ஆராய்தலின் பயனாக ஒரு கொள்கை தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட கருத்தை விளக்குவதற்காகவே அதன் தோற்றம் அமைகிறது. ஆனால், அதே கொள்கை பல புதிய உண்மைகளுக்குப் பொருத்தமான விளக்கமளிக்க இயலாததாகவும் சில சமயங்களில் தவறானதாகவும்கூட அமையலாம்.

இயற்பியலின் வளர்ச்சி எந்திரவியலோடு நின்றபொழுது பண்டை இயந்திரவியல் மிகவும் சிறந்ததாகக் கருதப்பட்டுவந்தது. ஆனால், 19ஆம் நூற்றாண்டில் இயற்பியல் துறையில் பல புதிய உண்மைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. வெப்ப நிகழ்ச்சிகள்-வெப்ப இயக்கவியலுக்கு வளர்ச்சியளித்தன. ஒளியியல் ஒளிப்பண்புகளை விளக்கமுற்பட்டது. மின்னியல் மற்றும் காந்தவியல் நிகழ்ச்சிகள் மின்னியக்க வியலின் முன்னேற்றப் பாதையின் முதற்படிகளாக விளங்கின. முன்பொரு காலத்தில், இயற்பியல்துறை தன் வளர்ச்சியின் இறுதிநிலையை அடைந்துவிட்டதாகக் கருதப்பட்டது. புதிய கண்டுபிடிப்புகள்கூடப் பழங் கொள்கையினால் சரியான விளக்கம் பெற்றன.

எனினும், நாளடைவில் புதிய உண்மைகளுக்கு விளக்கம் கொடுத்துவந்த பண்டை இயந்திரவியல் கொள்கையின் இயலாமை வெளிப்பட்டது. பின்னர், அதன் இயலாமையே ஒரு குறையாக மாறி அக் கொள்கையே தவறுடையது என்ற கருத்துக்கு இடமளித்தது. இதற்குக் காரணமான பல அடிப்படையான உண்மைகளில் ஒன்றாக ஒளியின் திசைவேகத்தின் மாறாமை விளங்கியது.

மிகவும் கவனத்துடன், பாகுபாடின்றிச் செய்யப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து, ஒளியின் பண்பு இதுவரை பல்வேறு துறைகளிலும் தோன்றியதைப் போலன்றி முற்றிலும் மாறுபட்டது என்பது புலனாகியது.

ஒளியின் இயல்பு பண்டைய இயற்பியல் கொள்கையின் வரம்புக்குட்படுவதற்காக, அறிவியல் மேதைகள் ஈதர் என்ற ஓர் ஊடகத்தை உருவகம் செய்தனர். ஆனால், இக் கொள்கைப்படி, அந்த ஊடகம் ஈதர், வியக்கத்தக்க பண்புகளைப் பெற்றதாகும். இந்த ஈதர் ஊடகம்பற்றி விளக்கமாகப் பின்னர் ஆராய்வோம். எனினும், இந்த ஈதர் ஊடகத்தினால் பண்டைய இயற்பியல் கொள்கையைச் செம்மையாக்க இயலவில்லை.

சூடாக்கப்பட்ட பொருள்களின் வெப்பக்கதிர்வீசல், பண்டைய இயற்பியல் கொள்கையின் மற்றொரு பெரிய இடையூறாக விளங்கியது.

இறுதியாக, கதிரியக்கக் கண்டுபிடிப்பு இக் கொள்கைக்கு அப்பாற்பட்டதாக அமைந்தது. இக் கண்டுபிடிப்பே, பல நாள் தனிச் சிறப்புடன் விளங்கிய பண்டைய இயற்பியல் கொள்கைக்குப் பெரும் அதிர்ச்சி ஏற்படுத்துவதாக அமைந்தது. ஏனெனில், கதிரியக்கம், அணுக்கருவை வியப்பூட்டும் வகையில் பிளப்பதோடல்லாமல், பொது அறிவின்படி தெளிவாக விளங்கிய இயற்பியலின் அடிப்படைக் கருத்துகளைத் தகர்த்தெறிந்தது. இவ்வாறு பண்டைய இயற்பியல் கொள்கையின் இயலமைப்பில் ஏற்பட்ட குறைபாடுகளிலிருந்து சார்பு கொள்கையும், குவான்டம் கொள்கையும் வளர்ந்தன.

புதுக் கொள்கைக்குப் பெயரிட்ட விதம்

குவான்டம் எந்திரவியல் எனப்படும் கொள்கை இந் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில் தோன்றியது. குவான்டம் எந்திரவியல் என்ற இப் பெயர், புதுக் கொள்கையில் இடம் பெறவிருக்கும் உண்மைகளைச் சற்றே சார்ந்திருக்கிறது. பொதுவாக, இயற்பியலின் எந்தப் பிரிவும் தெளிவற்ற பெயரடைந்ததிலிருந்து தப்பியதே இல்லை. இதற்குப் பல காரணங்களிருப்பினும் வரலாற்றுத் தன்மையே முக்கியக் காரணமாகும்.

முதலில் இக் கொள்கைக்கு 'எந்திரவியல்' என்ற பெயர் ஏன் வந்தது எனக் காண்போம். இக் கொள்கையில் எவ்விதமான எந்திரப் பண்பும் இடம் பெறவில்லை. அதைப்பற்றிப் பின்னால் பார்க்கப்போகின்றோம். ஆனால், எந்திரவியல் என்ற சொல் அதன் பொதுப் பண்பில் பயனாகிறது. சான்றாக, கடிகாரத்தின் எந்திரவியல் என்று கூறும்பொழுது, அக் கடிகாரம் செயல்படும் விதத்தினையே நாம் குறிப்பிடுகிறோம். குவான்டம் எந்திரவியலின் கருத்துகளனைத்தையும் இயற்பியலின் பொதுவான வரையறை நன்கு விளக்கும்.

இரண்டாவதாக, இக் கொள்கை, 'குவான்டம்' என்ற பெயர் பெற்றதற்கான காரணங்களைக் காண்போம். இலத்தீன் மொழியில் 'குவான்டம்' என்ற சொல்லுக்குத் 'தனித்த பகுதி' அல்லது 'அளவு' என்ற பொருளுண்டு. இப் புதிய கொள்கையில் நாம், உலகில் உள்ள பொருள்களின் நுண்மையான தனித்த பகுதிகளைக் கருதுகிறோம். நுண்பொருள்களின் பண்பை ஆராய்தல் இக் கொள்கையின் தனிச் சிறப்புகளில் ஒன்றாகும். ஆனாலும், இத்தகைய 'நுண்பகுதிகள்' எப்பொழுதும் பொதுவானதல்ல. மேலும், எல்லா நிலையிலும் நாம் நுண்பகுதிகளைக் கருதுவதில்லை. மேலும் கூறினால், நுண்பகுதிகளின் பண்பைப்பற்றியது இக் கொள்கையின் ஒரு பகுதியே ஆகும்.

பொருள்களின் 'இரட்டைப் பண்பு' (dual nature) மிகவும் சிறப்பானதோர் உண்மையாகும். ஒரு பொருள், துகள்களின் பண்பையும், அலைகளின் பண்பையும் ஒருங்கே பெற்றிருப்பதையே, நாம் பொருள்களின் இரட்டைப்பண்பு என்கிறோம். இப் புதிய கொள்கை, பின்னர் 'அலை எந்திரவியல்' என்ற திருத்தப்பட்ட பெயருடன் வழங்கப்பட்டது எனினும், இப் பெயரிலும் நாம் கொள்கையின் ஒரு பகுதியைமட்டுமே குறிக்கிறோம். அதாவது, பொருள்களின் துகள்பண்பை நாம் இப் பெயரில் குறிப்பிடவில்லை.

முடிவாக, இயற்பியலின் இப் புதியகொள்கையின் எப்பெயரும் நிறைவு தருவதாக இல்லை. இக் கொள்கையிலடங்கிய கருத்துகளை மனத்தில் கொண்டு மேலும் சிந்தித்து ஒரு முடிவைப் பெற முயன்றாலென்ன?

அறிவியலில், புதிய சொற்களின் அறிமுகம் என்பது கடினமான வேலையாகும். புதியசொற்கள் மெதுவாகவே அறிமுகமாகின்றன. மாற்றம் இன்னும் மெதுவாகவே ஏற்படுகின்றது. இயற்பியல் மேதைகள் இச் சொற்களின் புதிய விளக்கங்களை ஆராய்ந்து உணர்கின்றனர். அவற்றைக் கற்கவேண்டியது நமது கடமையாகும்.

இயற்பியல் மேதைகள் உருவாக்கிய மாதிரிப் படிவங்கள்

கயிற்றின் ஒரு முனையைப் பற்றிக் கயிறு சுழற்றப்படும்பொழுது அதன் மறுமுனையில் இணைக்கப்பட்ட கல்லின் இயக்கத்தைக் கருதுவோம். இது மிகவும் எளிய இயக்கமாகும். ஏனெனில், இதில் நாம் எல்லாவற்றையும் நமது கண்களால் காண்கிறோம். இந்த முறையில்தான் பண்டை இயற்பியல் கொள்கை உருவாகியது. அதாவது, பொருள்களின் காட்சிப்பதிவீடுகளிலிருந்தும் நம்மைச் சுற்றியுள்ள இயற்பாடுகளிலிருந்தும் இக் கொள்கை உருவாக்கப்பட்டது.

வழவழப்பான கிடைமட்டமான ஒரு மேடைமீது ஒரு பந்து உருட்டிவிடப்பட்டால் அதனை இயக்கிய விசை மறைந்தபின்னரும், அப் பந்து தொடர்ந்து இயங்கிக் கொண்டிருக்கும். இதுவும் இது போன்ற காட்சிகளும் சடத்துவ விதிக்குக் காரணமாக அமைந்தன. நியூட்டன், இந்தச் சடத்துவ விதியை இயக்கத்தின் அடிப்படை விதிகளில் முதலாவதாகத் தோற்றுவித்தார். கையால் தள்ளப்படாமலும், மற்றொரு பந்தோடு மோதாமலும், ஒரு பந்து தானாக இயங்க இயலாது. வழவழப்பான, மேடையில் இயங்கும் ஒரு பந்தையும், அமைதிநிலையில் உள்ள ஒரு பந்தையும் கருதினால்

அவற்றுக்கெனப் பொதுவான பண்பு ஒன்று உண்டு. (அதாவது, அவை எந்தவிதமான விசைக்கும் உட்படுத்தப்படுவதில்லை.

ஆனால், கயிற்றோடு பிணைக்கப்பட்ட பந்து எப்பொழுதும் ஒரு விசைக்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. அதன் காரணமாக, அது தனித்த இயக்கத்தின் பண்பான நேர்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து விலகிச் செல்கிறது. அமைதிநிலையில் மேடையில் உள்ள ஒரு பந்து ஒரு புறவிசைக்கு உட்பட்டால் அது இயங்கத் தொடங்கும். எனவே, அது வேகம் பெறும். அதிக விசைக்குட்படுத்தினால் பந்தின் வேகம் அதிகரிக்கும். இந்தக் காட்சிப்பதிவீடு நியூட்டனின் இரண்டாவது இயக்கவிதிக்குக் காரணமாகியது. இந் நிலையில் ஆராய்ச்சி யாளரான நியூட்டன் நமது உலகைவிட்டு வானில் உள்ள கோள்களை ஆராய்ந்தார். நமது முன்னோர்களை வியப்பில் ஆழ்த்திய 'வான்கோள்களின் இயக்கத்தின் ஒருமைப்பாட்டை'ப் பற்றிய உண்மையைத் தேடினர். வானில் உள்ள கோள்கள் எவ்வாறு சூரியனைச் சுற்றி வருகின்றன? ஏன் வேறுவிதமாக இருக்கக் கூடாது?

'ஒருமைப்பாடு' என்ற வார்த்தை அந்த அமைப்பில் உள்ள ஒரு ஒழுங்குப்பண்பை உணர்த்துகிறது. அதாவது, ஏதோவொரு விதியின்படி வானில் உள்ள கோள்கள் இந்த ஒழுங்கான இயக்கத்திற்கு உட்பட்டுள்ளன. பொதுவாக, பொருள்கள் கோளங்களாகவே இருப்பதில்லை. ஆனால், நமது பூமியும் மற்றக் கோள்களும் சூரியனைப்பற்றிக் கொண்டிருக்கும் இயக்கத்தை நிர்ணயிக்கும் ஒரு விதி நிச்சயமாக உண்டு. அவ் விதிக்குட்பட்டே கோள்கள் சூரியனையும், துணைக்கோள்கள் கோள்களையும் சுற்றிக் கொண்டிருக்கின்றன.

சுழற்றப்படும் கயிற்றின் முனையில் இயங்கும் ஒரு பந்தினை மறுபடியும் கருதுவோம். சூரியனைப்பற்றிக் கோள்கள் கொண்டிருக்கும் இயக்கம் மேற்கூறிய பந்தின் சீரான இயக்கத்தைப் பெரிதும் ஒத்திருக்கிறது. ஆனால் கோளின் இயக்கம் மெதுவானது. மேலும் இணைப்புக் கயிறேதுமில்லை. சுருங்கக் கூறினால் முதல் அமைப்பில், ஒரு விசை செயற்படுகிறது என்றால் இரண்டாம் அமைப்பிலும் அதைப்போல் ஒரு விசை செயற்படும் என எளிதில் கூறலாம். மேலும், கோள்களின் இயக்கத்தை நிர்ணயிக்கும் விசையின் செயலை நேரடியாக அறியமுடியாது. ஆனால், கோள்களின் இயக்கத்தை நிர்ணயிக்கும் விசை ஒன்று உண்டு என்ற உண்மையினை நியூட்டன் கண்டுபிடித்தார். இது பொருள்கள் ஒன்றையொன்று ஈர்ப்பதனால் ஏற்படும் விசை என்று நாமறிவோம்.

கயிற்றினால் சுழற்றப்படும் பந்தின் இயக்கத்திற்கும், கோள்கள் அவற்றின் பாதையில் சுற்றும் இயக்கத்திற்கும் பொதுவான விசையை ஊகித்தறிந்ததில்தான் நியூட்டனின் அறிவாற்றல் புலனாகிறது. எனினும், நமக்கு முக்கியமாக விளங்குவது கயிறும் பந்தும்தாம். ஏனெனில், அவையே முதலான இயற்பியல் மாதிரிகளில் ஒன்றாக அமையும். கோள்களின் இயக்கம் போன்ற, இயற்கையின் தூண்டப்பட்ட நிகழ்ச்சிகளைப் பற்றிய உண்மைகளை அவற்றையொத்த சிறு அளவில் உள்ள நிகழ்ச்சிகளையறிந்து பெறலாம். ஏனெனில், இவ்விரு நிகழ்ச்சிகளும் ஒரே தன்மையுள்ள விதிகளால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன என்று நாம் கருதுகிறோம்.

மேற்கூறிய முறையில் நாம் நிகழ்ச்சிகளை ஒப்பிடுவது எப்பொழுதும் எல்லா இடங்களிலும் பொருந்துமா என்ற வினா எழுகிறது. 'ஒரு நிகழ்ச்சியின் விதிகளை அதனின்றும் பெரும் அளவில் அல்லது சிறிய அளவில் உள்ள மற்றொரு நிகழ்ச்சிக்கும் உடைமையாக்குவது சரியான முறைதானா?' என்ற வினா எழுகிறது. நியூட்டன் காலத்தில் இக் கேள்விக்கான விடை மிகவும் எளிமையானதாகும். ஏனெனில், சிறிய அளவிலான ஒரு நிகழ்ச்சிக்கான காட்சிப் பதிவீடுகளின் பயனாய்ப் பெரிய அளவிலான நிகழ்ச்சியின் முடிவு பெறப்பட்டது. அல்லது மாறாக, பெரிய அளவிலான நிகழ்ச்சியின் காட்சிப் பதிவீட்டிலிருந்து சிறிய அளவிலான நிகழ்ச்சியின் முடிவு ஊகித்து உணரப்பட்டது: எனினும் இவ்விரு முறைகளுமே சரியானவையாக இருந்தன. மேலும், அதே முறை ஏறத்தாழ சரியானதாகவே தோன்றுகிறது. அதுவே உண்மையாக இருப்பினும் கடைப்பிடிக்கும் வழிதான் சற்று மாறுபட்டது. முதலாவதாக, நியூட்டன், இந்த அண்டம் (universe) ஒருமைப்பாடுடையது என்று கருதினார். இரண்டாவதாக, இந்த அண்டத்திலடங்கியவைகளின் வாழ்க்கையை மனித அளவில் நிர்ணயிக்கும் விதிகளே பெரிய உலகமான விண்கோள்களின் அளவிலும் நிர்ணயிக்கின்றன. புதுமை அறிவியல் கோட்பாடுகளின்படி நாம் நியூட்டனின் முதற் கருத்தோடு ஒப்புமை கொண்டுள்ளோம். இரண்டாவது, கருத்தை நோக்கும்பொழுது நாம் ஒத்துக் கொள்வதாக இல்லை. ஏனெனில், நாம் பெரிய அளவிலான இயக்கத்தைக் கொண்டு அதனையொத்த, அதனுள் அடங்கிய சிறிய நிகழ்ச்சிகளுக்கான முடிவெடுப்பது அவ்வளவு சரியானதன்று.

'ஒரு கிளியானது மனிதன் சொல்லும் வார்த்தைகளைத் திரும்பச் சொல்கிறது. ஆனால் அதிலிருந்து கிளியும் மனிதனைப் போலவே சிந்தித்துச் சொற்களை உச்சரிக்கின்றது' என்று கூறினால் அது தவறுடையதாகும். நமது கருத்தில் ஏற்பட்ட குழப்பத்திற்கு

முக்கியக் காரணம் முற்றிலும் வேறுபட்ட விதிகள், (ஒன்று) மிக நுண்பகுதிகளடங்கிய பொருள்கள், (இரண்டு) சாதாரண அள விலுள்ள பொருள்கள், (மூன்று) மிகவும் பெரிய அளவிலான பொருள்கள் என்ற முப்பெரும் வகைகளில் பயன்படுகின்றன. மேலும், சாதாரண அளவிலான பொருள்களுக்கான விதிகளை மற்ற அளவிலான பொருள்களுக்கும் விரிவடையச் செய்யும் பொழுது பல தடைகள் எழுகின்றன. இந்த முக்கியமான முடிவைத் தவருகப் புரிந்துகொண்டதால் இயற்பியல் மேதைகள் விதிகளுக்குட்படாத மிகச் சிறிய துகள்களைப் பற்றியறியும் பொழுது மிகவும் சோர்வு அடைந்தனர். சாதாரண அளவிலான பொருள்களுக்கென ஏற்பட்ட விதிகளுக்கு, நுண்பொருள்கள் உட்படாமலிருந்ததுகண்டு, இயற்பியல் மேதைகள் இயற்கையின் ஒழுங்கற்ற தன்மை குறித்துக் குறை கூறலாயினர். ஆனால், இயற்கை இத் தன்மையுடையதன்று என்று நாம் பின்னல் காணு வோம்.

மாதிரிப் பிரதிநிதித்துவம், இயற்கையறிவியல் முன்னேற் றத்தில், முன்போலவே இன்றும் முக்கியப் பண்பேற்கிறது. மிகவும் சிறப்புவாய்ந்த பேருண்மைகளில் சில, மனிதனுல் ஆக்கப் பட்ட மாதிரிகளின் உதவியால்தான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. வேறு சிலவற்றில், மாதிரிகளை அமைக்க இயலாமை காரணமாக அவற்றை மேதைகள் மனத்தில் உருவகம் செய்து அதிலிருந்தும் உண்மைகளைக் கண்டறிந்தனர்.

கயிற்றின் ஒரு முனையில் இணைக்கப்பட்ட பந்து ஓர் எளிமை யான மாதிரியாகும். நாளடைவில் சிக்கலான மாதிரிகள் உருவாக்கப்பட்டன. அவைகள், மேலும் மேலும் குழப்பம் விளைவிப்பனவாக அமைந்தன. வியக்கத்தக்க அமைப்புடையன வாகவும் அல்லது வினையுடையனவாகவும் இருந்தன. ஆனால், மாதிரிகள் நாம் அறிமுகப்படுத்துவனவாக அமைந்தாலும் அவைகளுக்குப் பொதுவான தன்மையொன்று இருக்கிறது. அவை அனைத்தும் நம்மைச் சுற்றியுள்ள சாதாரண உலகில் நாம் பார்த்து உணரும் பொருள்களினுல் ஆனவையாகும். இதுவே, மனிதனின் அறிவாற்றலின் தனிச் சிறப்பாகும். மிகவும் வியக்கத்தக்க வகையில் அமைந்த வேறுபாடுகளும், பொதுவாக்கப்பட்ட கருத்துகளும் எப்பொழுதும் உண்மையாக நிலவுவனவற்றிலிருந்து தோன்றியவைகளேயாகும்.

எல்லாவற்றிற்குமே மாதிரியமைக்க இயலாது

19ஆம் நூற்றுண்டின் இறுதியிலிருந்தே, இயற்கையன்னையின் புதிய உண்மைகளையறியச் சிறந்து விளங்கிய ‘மாதிரியமைப்பு’

முறையானது எல்லாக் காலத்திலும் வெற்றிபெற்றதாக இல்லை. சான்றாக, ஈதர் மாதிரியைக் கருதுவோம். இதனை உருவாக்கிய வர்கள், இம் மாதிரியானது பண்டை இயற்பியல் கொள்கையை அதன் அழிவிலிருந்து காத்த பெருமையுடையது என்று கருதினார்கள். எனினும், இம்மாதிரி ஒளியின் திசைவேக மாறாமையின் சிறப்பை விளக்க இயலவில்லை.

இந்த ஈதரைப்பற்றி நாம் சற்று விரிவாக ஆராய்வோம். ஈதர் மாதிரியானது கண்ணாடிபோன்று திண்மையான திடப் பொருளாகவும் முழுமையாக ஒளிபுகும் பொருளாகவும் இருந்தது. ஆனால், ஈதர் கடினமானதாக இருப்பினும் தன்னுள் பலவகை யான பொருள்களையும் தன்னிச்சைப்படி இயங்க அனுமதிக்க வல்லதாக இருக்கவேண்டும். மேலும், இயங்கும் இப் பொருள்கள் ஈதரைக் காற்றைப்போன்ற நிலையில் வைத்திருக்க வேண்டும். இயற்பியல் மேதைகள் பல வருடங்களாக ஈதரின் வியப்பூட்டும் இப் பண்புகளைப்பற்றி யறிய முற்பட்டனர். இறுதியில் அவர்கள் தோல்வியே கண்டனர். இந்த ஈதர் ஊடகமானது, உண்மையில் வேரேயில்லாத பெரிய மரம் போன்றது. இவ்வாறு வேரற்று வீழ்ச்சியடைந்தது ஈதர்பற்றிய கருத்து ஒன்று மட்டுமன்று. அணுவைப்பற்றிப் பண்டைய இயற்பியல் கொள்கைப்படியமைந்த எந்தவொரு மாதிரியும், ரேடியம், யுரேனியம் மற்றும் வேதியியல் தனிமங்களின் அணுக்களிலிருந்து திகைப்பூட்டும்வகையில் வெளி யாகும் ஆற்றலை விளக்கவல்லதாக இல்லை.

இந்த வகையில், ஆற்றல் வெளிப்படல் தங்குதடையின்றி, பல நூறாயிரமாண்டு காலமாகத் தொடர்ந்து நிகழ்ந்துகொண்டி ருக்கிறது. ஐன்ஸ்டீனின் ஃபோட்டான்பற்றிய கருத்து, பழம் மாதிரிகளுக்கு மற்றுமோர் அதிர்ச்சியாக அமைந்தது. கருத்தைச் சற்றுத் தெளிவற்றது என்றாலும்கூட, ஒளி மூலங்களிலிருந்து ஒளி யானது மின்காந்த அலைகளாக எல்லாத் திசைகளிலும் பரவு கின்றது என்ற கருத்தை முதுபழங் கொள்கையில் சேர்த்துக் கொள்ளலாம்.

'அலை' என்றாலே, நாம் ஓர் ஊடகத்தின் இயக்கத்தைக் கருதும் வழக்கத்தைக் கொண்டிருக்கிறோம். சான்றாக, கடலலைகள் என்றால் நீரையும், ஒலியலைகள் என்றால் காற்றையும் கருதுகிறோம். ஆனால், மின்காந்த அலைகள் வெற்றிடத்திலும் பரவும்தன்மை வாய்ந்தவை. இம் முறையில் நியூட்டனைப்போல், ஒளியானது நுண்துகள்களான கற்றை என்ற எளிமையான கருத்தை ஒப்புக்கொள்ளலாம். ஒளி விடும் பொருள்களிலிருந்து இத் துகள்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன. இவை எல்லாத் திசைகளிலும் பறந்து நமது கண்களையடையும்

பொழுது அவை ஒளி உணரும் நரம்புகளைத் தூண்டிவிடுவதால் நாம் ஒளியைப் பார்க்க முடிகிறது. இத் துகள்கள் வெற்றிடத்தில் இயங்கும் விதத்தினைப்பற்றி நாம் இப்பொழுது ஊகிக்கமுடியும். ஆனால், ஐன்ஸ்டீன் செய்ததைப்போல், ஒளியானது துகள்களின் பண்பையும் அலைகளின் தன்மையையும் ஒருங்கே அமையப்பெற்றது என நம்மால் கருத்தளவில் தெரிந்துகொள்வது கடினமாக இருக்கிறது.

நைல்போர் (Neil Bohr) மற்றும் ருதர்ஃபோர்டு ஆகியவர்கள் உருவாக்கிய அணுவின் மாதிரியில் நமக்குத் தெளிவான கருத்துப் புலப்படுகிறது. எலெக்ட்ரான்போன்ற நுண்துகள்கள் சிறிய அணுக்கருவைச்சுற்றிக் குறிப்பிட்ட சுற்றுகளில் சுற்றி வருகின்றன. அணுக்கருக்களையும், எலெக்ட்ரான்களையும் நோக்கும்பொழுது சுற்றுகளின் பரிமாணம் பத்தாயிரம் மடங்கு பெரிய அளவுடையதாகும்.

இன்னும் சற்றுச் சிந்தித்தால், அணுவையே வெற்றிட அமைப்பென்று கருதலாம். ஏனெனில், நாமும் ஒரு கோள்களின் கூட்டத்தில் வாழ்கிறோம். அதில் எலெக்ட்ரான்களின் (அல்லது கோள்களின்) பரிமாணங்கள் அணுக்கருவின் (அல்லது சூரியனின்) பரிமாணங்களைவிடப் பல்லாயிரக்கணக்கான மடங்கு சிறியனவாகும். எனினும், சிறிது காலத்திற்குள் டி பிராக்ளி முற்றிலும் மாறுபட்ட கருத்துகளைக் கூறினார். அதாவது, ஐன்ஸ்டீன் ஃபோட்டான்களுக்குக் கூறியதுபோலவே எலெக்ட்ரான்கள், அணுக் கருக்கள் மற்றும் நமது உலகின் எல்லா அடிப்படைத் துகள்களுக்கும் இரட்டைப்பண்பு உண்டு என்பதேயாகும். எனவே, அவை அலைகளுக்குரிய தன்மையையும் துகள்களின் பண்பையும் ஒருங்கே பெற்றிருக்கும். எனவே, ஒளியைப்போலவே, அணுக்கரு உட்படப் பொருள்களின் துகள்களைப்பற்றி இனியும் நாம் தெளிவான கருத்தொன்றைப் பெற இயலாது.

காணவும் உணரவும் இயலாத உலகம்

இயற்பியல் மேதைகள் இக்கட்டான நிலையில் இருந்தனர். முன்பெல்லாம் அடிப்படைக் கருத்துகளில் மாற்றமேதும் இருக்காது. விரிவுகள் மட்டுமே மாறுபடும் என்ற முழு நம்பிக்கையுடன் புதிய கருத்துகளைக் காண முற்பட்டனர். ஆனால், இப்பொழுதோ எக் கணத்திலும் எதுவும் எதிர்பார்க்கப்படலாம் என்ற நிலையில் உள்ளனர். அமைதியில்லா மனத்தில் கற்பனைக்கோர் எல்லையில்லை. இயற்பியல் மேதைகள் புதிய நிலப்பகுதிகளைக் கண்டறிபவனைவிட மோசமான நிலையுற்றனர். ஏனெனில், நாடுகளை ஆராய்பவன்

புதிய உருவத்துடன் கூடிய மனிதன், விலங்குகள் இவற்றை எதிர் பார்த்துச் செல்லும்பொழுது ஏறத்தாழ அதே நிலம் மலை-கடல் ஆகியவை சற்று மாறுபட்ட நிலையில் அமைந்திருப்பதைக் காணும் பொழுது ஏமாற்றமடைவான். ஆனால், அவனுடன் ஒப்பிடில் அறிவியல் மேதைகள் புதிய உலகில் கண்ட உண்மைகள் பெயர் புனைவதற்குக்கூட இயலாத வண்ணம் விநோதப் பண்புகளைப் பெற்றிருந்தன. அணுவைப்பற்றிய, முற்றிலும் மாறுபட்ட இப் புதிய உலகத்தைக் கற்பனைகூடச் செய்துபார்க்க இயலவில்லை. ஆனால், அறிவியலின் முன்னேற்றம், சில கருத்துகளை, அவை எவ்வளவு புதுமையாக இருப்பினும் உருவகம் செய்யத் தூண்டிற்று. குவான்டம் எந்திரவியலை உருவாக்குவது மிகவும் கடின மான தொன்றாக இருந்தபோதும் அதனைச் செய்து முடிக்க வேண்டியதாயிற்று.

சுற்றியுள்ள உலகில் கண்ணுக்குப் புலனாகக்கூடிய மாதிரிகளின் அடிப்படையில் அமைந்த கொள்கைகளைத் தோற்றுவிப்பது என்றி ருந்தால் அது எளியதாக இருந்திருக்கும். ஆனால், நுண் துகளடங்கிய உலகை மாறுபட்டுப் புனைந்தால் என்ன? மாதிரிகளே இல்லாமல் உருவாக்கினால் என்ன? கருத்தில் புலனாகும் மாதிரி களைக் கற்பிதம் செய்யமுடியாது. எனவே, கற்பனைக்கெட்டாத மாதிரிகளைக்கொண்டு கொள்கை புனைய வேண்டும். ஆகையால், ஆண்டுகள் பல கடந்தன. எனினும், இயற்பியல் மேதைகள் முயற்சியை விட்டுவிடவில்லை. புரிந்துகொள்ளக்கூடக் கடினமான மாறுபட்ட மாதிரிகளைக்கொண்டு பழைய மாதிரிகளைக் கைவிடு கிறோம். இவ்வாறுதான் அறிவியல்துறை வளர்ச்சியுறுகிறது. இந்த நூற்றாண்டின் இயற்பியல் மேதைகள் இதனால்தான் தனிச் சிறப்படைகிறார்கள். மாறுபட்ட கருத்துகளினின்றும் நடை முறைக்கு முற்றிலும் புறம்பான மாதிரிகளிலிருந்தும் நுண்துக ளடங்கிய புதிய உலகத்திற்கான மிகவும் சிறப்பான கொள்கையைப் புனைந்து காட்டினர். மேலும், நாகரிகத்தின் வரலாற்றிலேயே குறிப்பிடத்தக்க சில புதுமைகளைக் கண்டனர். அவர்கள் அணுக்கருவின் ஆற்றலைப்பற்றிய பேருண்மையைக் கண்டறிந்தனர். இது பல காலமாகக் கண்டறியப்படாமல் மறைந்திருந்தது. குவான்டம் கொள்கையின் தோற்றமில்லை யெனில் அணு ஆற்றல் தொழிற்சாலைகளும், எலெக்ட்ரானியல் எனப்படும் துறையும் தோன்றியிரா.

ஆர்வமூட்டுவது ஆராயக் கடினமானது

குவான்டம் எந்திரவியல் கொள்கையின் புதிய தன்மையும், கருத்துகளைச் சரியாக உருவகம் செய்ய இயலாது என்ற உண்மையும் இதனை அறிந்து கொள்வதற்குக் கடினமானதாகச்

செய்கின்றன. இது முற்றிலும் உண்மை. சில தவறுகள் குவான்டம் எந்திரவியல் கொள்கையிலேயே இருக்கின்றன. ஏனெனில், அது தொடர்ந்து வளர்வதோடு மட்டுமல்லாமல் அதன் முறைகளும் தொடர்ந்து சீரமைப்புப் பெறுகின்றன. வளர்ச்சியினுல் மாறுபட்டுவரும் எதனைப்பற்றியும் அதிலும் வேகமாக வளரும் பொருள்பற்றி எழுதுவதென்பது நிறுவப்பட்ட கொள்கை பற்றி எழுதுவதுபோல் எளிதானதல்ல. இது மட்டுமன்றி, இயற்பியல் மேதைகள் இன்றும் குவான்டம் எந்திரவியல் கொள்கையின் விளக்கம்பற்றி விவாதம் நடத்தி வருகின்றனர். மேலும், அது விவரிக்கும் உலகின் சிறப்புத் தன்மைகளைப் பற்றியும் பேசி வருகின்றனர்.

இப்பொழுது நாம் விண்வெளிப் பயணக்காலத்தில் இருக்கிறோம். மீண்டும் நாம் இயற்பியலை உதவிக்கு நாடுகிறோம். அண்டவெளியைப்பற்றிய இயற்பியல், இந்த வுலக இயற்பியலிலிருந்து முற்றிலும் வேறுபட்டதாக இருக்கிறது. இவ் வுலக இயற்பியலில் நுண்துகள்களுக்கு முதலிடம் அளிக்கப்படுகிறது. பெரியவையும் சிறியவையும் சந்திப்பது பற்றிய பழமையான கருத்துக்கு அண்டவெளியில் சான்று கிடைக்கிறது. மிகப் பெரிய விண்மீன்களும் மிகச் சிறிய அணுக்களும் ஒன்றோடொன்று இணையமுற்படுவதோடன்றி ஒரே தொகுதியாக நிலவுகின்றன.

அறிவியலைப்பற்றி, உருவகப்படுத்தக்கூடிய தகுந்த மாதிரி அமைப்புகள் துணையின்றித் தெளிவாக எழுதுவதென்பது இயலாதவொன்றாகும். எனவே, குவான்டம் எந்திரவியல் கொள்கையை விளக்க மாதிரிகள் இல்லையெனினும் இயற்கையில் உள்ள தகுந்த உவமைகளைப் பயன்படுத்தலாம். எனினும், அந்த உவமைகள் முற்றிலும் பொருந்துவதாகவோ அல்லது போதுமானதாகவோ இருப்பதில்லை. அவை கருத்துகளைப் புரிந்துகொள்ளப் பொதுவாக உதவுகின்றன.

சான்ருக 'எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச் சுற்றி வருகின்றன' என்ற கூற்றைக் கருதுவோம். 'உப்பைப்போன்ற வெண்மையான பனி வானத்திலிருந்து விழுகிறது' என்ற கூற்று ஆப்பிரிக்க மக்களுக்கு உணர்த்துவதைவிட எலெக்ட்ரான்பற்றிய கூற்று அதிக உண்மையை நமக்கு விளக்கவில்லை. எலெக்ட்ரானின் இயக்கமும், தன்மையும் அளந்தறிய முடியாத அளவுக்குச் சிக்கலானது. அதனை இன்னும் நம்மால் முழுமையாக அறிய முடியவில்லை. இன்று மட்டுமன்று. இன்னும் ஆயிரமாண்டுகளாயினும் நம்மால் முழுமையாக அறிய முடியாது. உண்மையில் குவான்டம் எந்திரவியல் கொள்கையின் வளர்ச்சி, எலெக்ட்ரானின் எல்லையற்ற

வேறுபாடுகளுக்கும் முடிவிலாத பண்புகளுக்கும் மற்றவற்றிற்கும் ஒரு சான்ருக நிலவுகிறது.

இன்றும் உலகத்தைப் பற்றி நாம் அறிந்ததெல்லாம் முழுமையான அறிவல்ல. பூமியின் உட்புறத்தைப் பற்றியறிய இப்பொழுது தான் முற்பட்டிருக்கிருேம். அதேபோல விண்வெளி ஆராய்ச்சியைத் தொடங்கியிருக்கிருேம். இப்பொழுதுதான் நிலங்கள், காடுகள், மலைகள், ஆறுகள் மற்றும் பாலைவனங்களில் வாழ்க்கையைப்பற்றி ஆழ்ந்தறிய முற்பட்டுள்ளோம்.

நமது நிலை இவ்வாறு இருக்கும்பொழுது காண மிகவும் அரிதான அணுக்களைப்பற்றியும் அணுக் கருவைப்பற்றியும் அடிப்படைத்துகள்களைப்பற்றியும் எவ்வாறு நாம் அதிகம் அறிந்திருக்க இயலும்? இத் துறையில் ஆயிரக்கணக்கான ஆண்டுகளுக்கு இன்னும் நாம் கடும் உழைப்போடு ஈடுபடவேண்டும். ஏனெனில், இந்த அறிவென்னும் காட்டாற்றின் தோற்றுவாயில்தான் நாம் இப்பொழுது இருக்கிருேம். சமீபகாலத்தில் கண்டறியப்பட்டவைகளில் மிகவும் வியப்பூட்டும் உண்மைகள் புலனுகின்றன. இந்தப் புதியத்துறை தொழிலறிவு, தொழிற்சாலை, விவசாயம், மருத்துவத்துறை ஆகியவற்றிற்கு உண்மையில் வியக்கத்தக்க எதிர்காலத்தைக் காட்டியுள்ளது. அவற்றுள் சிலவற்றை-அணு ஆற்றல் நிலையம்-கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள்-கதிரவன் மின்கலத் தொகுப்பு-எனக் குறிப்பிடலாம். இப்பொழுது நாம் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட வெப்ப அணு ஆற்றலைப்பற்றிய விண்வெளி ஆராய்ச்சியையும் மேற்கொண்டுள்ளோம். இந்த முயற்சிகளால் நமது எதிர்காலம் மிகவும் பொலிவுடையதாகவும் வியப்பூட்டுவதாகவும் அமையும். இவையெல்லாம் 60 ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் அறிவியல்துறை என்ற வளமான நிலத்தில் மாக்ஸ் பிளாங்க் என்பவர் ஊன்றிய சிறிய விதையின் வளர்ச்சியேயாகும். இதன் வளர்ச்சியைக் கூர்மதியுடைய அறிவியல் மேதைகள் கூட்டமொன்று மிகவும் கவனத்துடன் கண்காணித்து வந்தது.

புதிய கொள்கையின் முதற் படிகள்

'வெப்பமும் ஒளியும்'

கடுங்குளிர் காலத்தில் மாலையில் சூடான அடுப்புக்கருகில் இருந்து வெளிவரும் தீப்பிழம்புகளைக் கவனித்தவண்ணம் குளிர் காய்வதென்பது மிகவும் சுகமானதாக இருக்கும். ஆனுல், வெம்மை ஏது? அடுப்புக்கருகில் வெம்மையாக இருப்பதேன்?

அடுப்பில் உள்ள நெருப்பைப் பார்க்காமலிருந்தால்கூட, தொலைவில் இருந்தாலும் அடுப்பின் வெம்மையை உணரமுடியும். எனவே, அடுப்பிலிருந்து காணமுடியாத ஒரு வகைக் கதிர்வீச்சு ஏற்படுகிறது. இதுவே வெம்மையைக் கொடுக்கிறது. இக் கதிர்கள் வெப்பக்கதிர்கள் அல்லது புறச் சிகப்புக் கதிர்கள் எனப்படும்.

சற்றுக் கூர்ந்து கவனித்தால், வெப்பக் கதிர்வீச்சு இயற்கையில் சாதாரணமாக ஏற்படும் நிகழ்ச்சி என்பது புலனுகும். மெழுகு வர்த்தி, பெரும் நெருப்பு அல்லது சூரியன் போன்றவைகளிலிருந்து வெப்பமும், ஒளியும் வெளிவிடப்படுகின்றன. வெகு தொலைவில் உள்ள விண்மீன்கள்கூட பூமிக்கு வெப்பக் கதிர்களை அனுப்பு கின்றன. சூடாக்கப்பட்ட பொருளொன்று ஒளிர்வதாகக் கருதினுல் அதிலிருந்து நிச்சயமாக வெப்பமும் வெளியாகும். எனவே, வெப்பம் பரவுதலும், ஒளி பரவுதலும் உண்மையில் ஒரே நிகழ்ச்சியாகும். எனவேதான், வெப்பமடைவதால் ஒரு பொருள் வெளிவிடும் கதிர்களுக்கு அறிவியல் மேதைகள் வெப்பக் கதிர் வீச்சு எனப் பெயரிடலாயினர். வெப்பமாக்கப்பட்ட பொருளில் வெப்பக் கதிர்வீச்சு, ஒளி இரண்டும் அடங்கியிருக்கின்றன.

கடந்த நூற்றுண்டிலேயே இயற்பியல் மேதைகள் வெப்பக் கதிர்வீச்சுக்கான அடிப்படை விதிகளைக் கண்டறிந்தனர். அவை நமக்குத் தெரிந்தவையே. அவற்றில் இரண்டை நாம் மீண்டும் நினைவு கொள்வோம். ஒன்று: ஒரு பொருள் அதிகமாகச் சூடுபடுத்

தப்பட்டால் அது அதிகப் பொலிவுடன் பிரகாசிக்கும். வினாடியில் வெளியாகும் கதிர்வீச்சின் அளவு பொருளின் வெப்பநிலை மாற்றத்தோடு பெரிதும் மாறுகிறது. வெப்பநிலை மும் மடங்கு அதிகரிக்கப்பட்டால் கதிர்வீச்சு ஏறத்தாழ நூறு மடங்கு அதிகரிக்கிறது. இரண்டு : வெப்பநிலை அதிகரித்தால் கதிர்வீச்சின் நிறம் மாறுபடுகிறது. தீப்பிழம்பின் அடியில் உள்ள இரும்புத் துண்டைக் கவனித்தால் முதலில் அது கருமை நிறம் பெற்றிருக்கிறது. பின்பு அதில் செறிந்த செம்மை நிறம் தோன்றும். பின்னர் அது செம்மை நிறமடைந்து ஆரஞ்சு நிறம்பெற்று மஞ்சள் நிறத்தையடைகிறது. இறுதியில் சூடான இந்த இரும்புத் துண்டு வெள்ளொளியுடன்கூடப் பிரகாசிக்கும்.

அனுபவம்மிக்க ஓர் இரும்புத் தொழிலாளி துண்டு ஒளிரும் நிறத்திலிருந்து அதன் வெப்ப நிலையைக் கணிக்கமுடியும். அவர் கூற்றுப்படி மங்கலான செறிவுற்ற செம்மை நிறத்திற்கு 500°C என்றும் மஞ்சள் நிறத்திற்கு 800°C என்றும் பிரகாசமான வெண்மை நிறத்திற்கு 1,000°C-க்கும் மேல் இருக்கும் எனக் கொள்ளலாம்.

இயற்பியல் மேதைகளுக்கு இதுபோன்றத் தோராயமான மதிப்புகளில் நிறைவு ஏற்படவில்லை. அவர்கள் சரியான மதிப்புகளைப் பெறவிரும்பினர். இயற்பியல் மேதைகளுக்கு 'இந்த நாள் குளிரான தினம்' என்பதுபோன்ற குறிப்பு 'அவன் பெரிய முகத்தைப் பெற்றிருக்கிறான்' என்பதுபோன்ற விளக்கமற்றக் குறிப்புகளாகவே அமைந்தன. அவர்கள் மிகவும் தெளிவான குறிப்புகளைத் தேடினர். அவர்கள் பல வகைப்பட்ட பொருள்களிலிருந்தும் பல்வேறு நிலைகளில் வெளிப்பட்டக் கதிர்வீச்சை ஆராய்ந்தனர். ஆனால், இது சிறிதுகூட அவர்களுக்கு உதவவில்லை. சூடான பொருள்களிலிருந்து வெளியாகும் கதிர்வீச்சலுக்கான விதிகளை நிறுவும் அளவுக்குத் தரமான பொருள்களைத் தேடினர். அவ்வாறு இருந்தால் மற்ற பொருள்களிலிருந்து வெளியாகும் ஒளியைக்கொண்டு, அவை படித்தரமான பொருள்களிலிருந்து எவ்வாறு மாறுபட்டவை எனப் பிரித்துக்காட்ட இயலும். பின் வரும் குறிப்புகளைக் கவனிக்கவும். ஒரு மனிதனின் மூக்கு சாதாரண (படித்தரமான) அளவைவிட நீளமாக இருக்கிறது. அவனது நெற்றி படித்தரமான அளவைவிடக் குறுகலாகவும், தாடை சற்று விரிவடைந்தும், கண்கள் சற்றுப் பசுமை நிறமுடையதாகவும் சற்று சிறியதாகவும் இருக்கின்றன. இவ்விதம் கூறுவது நமக்கு வியப்பூட்டலாம். ஆனால், இயற்பியல் மேதைகள் பெருமகிழ்ச்சியடைவர். அது ஏன்?

'கருமையிலும் கருமை'

ஏறத்தாழ ஒரே நிறமுடைய பல்வேறு பொருள்களை எடுத்துக் கொண்டு அவற்றின் நிறங்களுக்கிடையேயுள்ள வேறுபாட்டைக் கவனிப்பதாகக் கருதுவோம். ஊன்றிக் கவனித்தால் அவற்றின் நிறங்களுக்கிடையேயுள்ள வேறுபாடுகள் புலனுகும். ஒன்று சற்று வெளிர் நிறமுடையதாகவும் மற்ருென்று மிகவும் செறிந்த நிறமுடையதாகவும் தோன்றும். இந்த வேறுபாட்டிற்கான காரணத்தைக் காண்போம். பொருளின்மீது விழும் ஒளியில் ஒரு சிறுபகுதி உட்கவரப்படுகிறது. இவ்வாறு உட்கவரப்படும் ஒளிக்கும் பிரதிபலிக்கப்படும் ஒளிக்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பு, பலவிதத் திலும் மாறுபடலாம். உதாரணமாக, இரு எல்லைகளைக் கருதினுல் அவை பளபளப்பான உலோகப்பரப்பு மற்றும் கருமை நிறமுடைய வெல்வட்துண்டு எனக் கூறலாம். உலோகப் பரப்பு அதன்மீது விழும் ஒளியில் பெரும்பாலும் மொத்தத்தையும் பிரதிபலித்துவிடும். வெல்வட்துண்டு, அதன்மீது விழும் ஒளியில் பெரும்பகுதியை உட்கவர்ந்துவிடும். வெல்வட்துண்டில் ஒளி பிரதிபலிப்பு நடைபெறுது.

வித்தைக்காரன், கருப்பு வெல்வட் துணியின் இப் பண்பை முழுவதும் பயன்படுத்திக்கொள்கிருன். ஏனெனில், ஒளியைப் பிரதிபலிக்காதப் பொருளைப் பெரும்பாலும் காணமுடியாது. எனவே, மேடையில் கருமையான சூழ்நிலையில் வைக்கப்பட்ட பெட்டியைக் கருமையான வெல்வட் துணியால் மூடிவிட்டால் அது கவனத்தைக் கவராது. எனவே, வித்தைக்காரன் கைத்துணிகள், புருக்கள் ஏன் தானே மறையும் அல்லது தோன்றும் வித்தைக் கான எல்லாத் தந்திரங்களையும் செய்ய இயலும்.

கருமையான பொருள்களின் இப் பண்பை இயற்பியல் மேதை களும் பெரும் பயனுள்ளதாகக் கண்டனர். தரமான பொருளைத் தேடிய அவர்கள் இறுதியில் கரும்பொருளைத் தேர்ந்தெடுத்தனர். பெரும்பாலும் எல்லாக் கதிர்வீச்சையும் கரும்பொருள் உட்கவர்வ தால், அது மற்ற பொருள்களைவிட அதிக வெப்பநிலையை அடைகிறது.

மறு மொழிதலாகக் கூறினுல், கரும்பொருள் அதிக வெப்ப நிலைக்குச் சூடாக்கப்பட்டு ஒளிமூலமாக ஆக்கப்பட்டால் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பநிலையில் மற்ற பொருள்களைக்காட்டிலும் செறிவோடு ஒளிவிடும் பொருளாக அது திகழ்கிறது. எனவே, வெப்பக் கதிர்வீச்சலுக்கான அளவியல் விதிகளை நிறுவ இது பெரிதும் பயனுள்ளதாக அமைகிறது. எனினும், கரும்பொருள் களே, மாறுபட்ட வெவ்வேறு வகைகளில் கதிர்வீச்சில் பங்கேற்பது

கண்டறியப்பட்டது. சான்றாக, பயன்படுத்தும் எரிபொருளைப் பொருத்து புகைக்கரி, வெல்வட்டைக் காட்டிலும், அதிக அளவில் கருமைநிறம் பெற்றதாகவும் எடையற்றதாகவும் இருக்கலாம். மேலும், வெல்வட் பலவகைப்படலாம். இந்த வேறுபாடுகள் பெரியவையல்ல எனினும் இவற்றைத் தவிர்ப்பது நல்லது.

பிறகு, இயற்பியல் மேதைகள், எல்லா பொருள்களிலும் கருமையான, ஒரு பெட்டியை உருவகம் செய்தனர். இது வெப்பக் கதிர்வீச்சைத் தாங்கவல்ல மிகவும் சிறப்புடைய பெட்டியாகும். இதன் சுவர்களின் உட்புறம் புகைக்கரி பூசப்பட்டது. இதிலுள்ள சிறு துளைவழியாக உட்செல்லும் ஓர் ஒளிக்கதிர் எக் காலத்திலும் வெளியேறமுடியாது. இப் பெட்டியில் புகும் கதிர்வீச்சு ஆற்றல் முழுவதையும் இது உட்கவரும் பண்புடையது என இயற்பியல் மேதைகள் கூறினர்.

இப்பொழுது நாம் இப் பெட்டியை ஓர் ஒளிமூலமாக மாற்று வோம். உண்மையில் இப் பெட்டி அதற்காகவே ஏற்பட்டது ஆகும். இப் பெட்டி போதுமான அளவிற்குச் சூடுபடுத்தப்பட்டால் அதன் சுவர்கள் ஒளிர ஆரம்பிக்கும். எனவே, கட்புலனாகும் ஒளியை வீச முற்படும். நாம் முன்பு கூறியதுபோலவே கொடுக் கப்பட்ட வெப்ப நிலையில் இவ் வகைப் பெட்டிகளிலிருந்து கிடைக்கும் ஒளி மற்றும் வெப்பக் கதிர்வீச்சு, மற்ற பொருள் களுடையதைக்காட்டிலும் அதிகமாக இருக்கும். கரும்பெட்டி யினின்றும் மற்ற பொருள்களை நாம் பிரித்துணர்வதற்காக, அவற்றை நாம் பழுப்புநிறப் பொருள்கள் என்போம்.

வெப்பக் கதிர்வீச்சுக்கான, எல்லா விதிகளும் மிகவும் நுட்ப மாக, மிகவும் கருமை நிறங்கொண்ட பெட்டிகளுக்கெனவே நிறுவப்பட்டன. இப் பெட்டிகளைப் பொதுவாகக் கரும் பொருள்கள் என்கிறோம். இவ் விதிகளைச் சற்று திருத்தியமைத்தால் அவை பழுப்பு நிறப் பொருள்களுக்கும் பொருந்தும்.

'சரியான விதிகள் : தோராயமானவையல்ல'

இயற்பியல் முறைப்படி, நமது விதிகளை நாம் சீர்படுத்தி மிகவும் சரியானவைகளாகச் செய்வோம். முதல் விதிப்படி ஒரு கரும் பொருளின் கதிர்வீச்சுத்திறன், அதாவது அப் பொருள் ஒரு வினாடியில் வெப்பமாகவும், ஒளியாகவும் வெளிப்படுத்தும் ஆற்றல் அப் பொருளின் மெய் வெப்ப நிலையின்[1] நான்கு மடிக்கு நேர்

1 மெய் வெப்பநிலையானது செல்ஸியஸ் முறையில் 0°-யிலிருந்து 273°-க்குக் கீழேயிருந்து தொடங்குகிறது.

விகிதத்திலிருக்கும். இவ் விதி கடந்த நூற்ருண்டின் இறுதியில் ஜெர்மன் மேதைகளான ஸ்டீஃபன், போல்ட்ஸ்மன் என்பவர்களால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இரண்டாவது விதியின்படி கரும் பொருளின் வெப்பநிலே அதிகரிக்க, அதனின்று வெளிப்படும் ஒளியின் பெருமப் பொலிவுக்கான அலேநீளம் குறைகிறது. அதாவது, நிறமாலேயில் ஊதா நிறத்திற்கு அருகாமைக்கு நகருகிறது. இது ஆஸ்திரிய நாட்டு மேதையான வீன் அவர்களேக் கவுரவிக்கும் வகையில் 'வீன் இடப்பெயர்ச்சி விதி' என வழங்கப் படுகிறது. இயற்பியல் மேதைகள் வெப்பக் கதிர்வீச்சலுக்கான இவ் விரு பொதுவான விதிகளேப் பெற்றிருந்தார்கள். இவற்றை விதிவிலக்கின்றி எல்லா பொருள்களுக்கும் பயன்படுத்தலாம். முதல் விதி, பொருள் சூடுபடுத்தப்படும்பொழுது அதன் பிரகாசத்தின் பொலிவு அதிகரிப்பதலேப்பற்றிச் சரியான விளக்கம் கொடுக்கிறது. பொருளின் வெப்பநிலே அதிகரிக்க அது வெளிவிடும் வெண்ணிற ஒளி அதிகரிக்கிறது. ஊதா நிறமல்ல. எனவே, வீன் விதி மேற்பட்ட காட்சிப்பதிவிற்கு மாறுபட்டதுபோல் தோன்றலாம்.

ஆனுல், அதனேயே நாம் சற்று ஊன்றிக் கவனித்தால் வீன் விதியானது, பொருளிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளியின் பெருமப் பொலிவுக்கான நிறத்தைப்பற்றி மட்டுமே கூறுகிறது. இதனேடுகூட, குறைந்த வெப்பநிலேயில் முன்பு வெளிப்பட்ட அதிக அலே நீளங் கொண்ட (அதாவது வேறு நிறங்கொண்ட) கதிர்வீச்சும் இருப்பதாகக் கூறும் கருத்து, நமது கற்பனேயாகும். ஒரு பொருளேச் சூடாக்கும்பொழுது அதன் கதிர்வீச்சின் நிறமாலேயின் நெடுக்கம் அதிகரிக்கிறது. அதனுல் நிறமாலேயின் புதிய பகுதிகள் வெளிப்படுகின்றன. ஆகவே, ஒரு பொருளின் வெப்பநிலே தேவையான அளவுக்கு அதிகமானபின், கண்ணுக்குப் புலனுகும் முழுமையான கட்புலனுகும் 'வெளிவிடு நிறமாலே' தோற்றுவிக்கப்படுகிறது.

இதனே ஓர் இசைக் குழுவின் முழக்கத்தோடு ஒப்பிடலாம். குழுவில் கருவிகள் மேலும் மேலும் அதிகமான அளவுக்கு சுரங்களே எழுப்பும்பொழுது முழுமையாகக் காண்போமாயின் 'குழுவின் இசை' ஒரு வலிமையான முழக்கமாகத் திகழ்கிறது. இது அழுத்தமான 'சிவப்பு' என்ற அடிப்படை ஒலியிலிருந்து 'ஊதா' என்ற அதிக சுரங்களோடு கூடிய குழலோசை போன்றது. இனி, வெண்ணிற ஒளியானது முழு நிறமாலேயாகும். எனவே, வீன் விதி உண்மையாகிறது. ஆனுல், இயற்கை, வெப்பக் கதிர்வீச்சு ஆராய்ச்சியாளர்களுக்கு, முற்றிலும் புதியதொரு கோணத்திலிருந்து பேரதிர்ச்சி விளேவித்தது.

'புறஊதாப் பெருங்கேடு'

இயற்பியல் மேதைகள் அனைத்துலக விதிகளைப்பெறுவதில் ஈடுபாடு கொண்டிருந்தனர். ஒரே நிகழ்ச்சி பல்வேறு பகுதிகளாகப் பல விதிகளால் விவரிக்கப்படுகிறது என்ற பேருண்மையை உணர்ந்த பின்னர், பல்வேறு விதிகளையும் ஒருங்கிணைத்து ஒரு பொதுவான விதியைப்பெற உடனே முயன்றனர். வெப்பக் கதிர்வீச்சலில் இதுபோன்ற முயற்சியில், ஆங்கிலேய மேதைகளான ராலே மற்றும் ஜுன்ஸ் ஆகியோர் ஈடுபட்டனர். ஒருங்கிணைத்து அவர்கள் பெற்றவிதிப்படி சூடான பொருளிலிருந்து வீசப்படும் கதிர்வீச்சின் செறிவு அப் பொருளின் மெய் வெப்ப நிலைக்கு நேர் விகிதத்திலும் வெளிப்படும் ஒளியின் அலை நீளத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலும் இருக்கும். சோதனை முடிவுகளோடு இவ்விதி நன்கு இசைந்திருந்தது. ஆனால், திடீரென்று ஓர் உண்மை புலப்பட்டது. அதாவது, இவ் விதி கட்புலனாகும் நிறமாலையில் சிகப்பு, மஞ்சள், பச்சை போன்ற அதிக அலை நீளப்பகுதிக்கு மட்டுமே ஏற்றதாக விளங்கியது. நீலம், ஊதா, புறஊதா போன்ற கதிர்களுக்கு இவ் விதி பொருந்தவில்லை. ராலே-ஜீன்ஸ் விதிப்படி குறைந்த அலைநீளங்களுக்கு வெப்பக் கதிர்வீச்சின் செறிவு மிகுதியானதாக அமையவேண்டும். ஆனால், சோதனையின் முடிவு மாறுபட்டதாக விளங்குகிறது. மேலும், இந்த விதிப்படி, குறைந்த அலைநீளங்களை நெருங்க நெருங்க, வெளிவிடப்படும் கதிர் வீச்சின் செறிவு எல்லையற்ற முறையில் பெருகிக்கொண்டேயிருக்க வேண்டும்.

எனினும் உண்மை இதுவல்ல. எக் காலத்திலும், அலைச் செறிவு வரம்பின்றி வளர்ந்து வருவதாக இருக்கமுடியாது. ஓர் இயற்பியல் விதி அத்தகைய முடிவுக்கு வழிகாட்டுவதாக இருந்தால் அது அதன் அழிவை அடைந்து விட்டதாகவே இருக்கும். இயற்கையில் பெரிய பொருள்கள் உண்டு. மிகப்பெரிய கற்பனைக் கெட்டாத அளவுக்குப் பெரிய பொருள்களும் உண்டு. ஆனால், எப்பொருளும் வரம்பில்லாத அளவு கொண்டதாக இருக்க முடியாது. அவ்வாறு நிலவுவது நமது அண்டம்மட்டுமே யாகும். கதிர்வீச்சின் கொள்கையில் எழுந்த இந்த வியப்பூட்டும் நிலை 'புறஊதாப்பெருங்கேடு' எனப்பெயர் பெற்று விளங்கலாயிற்று. இது கடந்த நூற்றுண்டின் இறுதியில் ஏற்பட்டது. அக் காலத்தில், இந்தப்பெருங்கேடு ஒரு தனித்த விதிக்குமட்டும் ஏற்பட்டதல்ல என்ற உண்மையை ஒருவர்கூட கற்பனைசெய்து பார்க்கவில்லை. நமது கொள்கை முழுமையாகக் கேடுற்றதன் விளைவாக எழுந்ததே இவ் விதி. இதனுல், பண்டைய எந்திரவியல் கொள்கையே கேடுற்றது.

சிக்கலில் சிக்கிய பண்டை இயற்பியல் கொள்கை

பண்டைக்காலத்தில் சிலர் பண்டை இயற்பியல் கொள்கைக்கு ஏற்பட்ட இந்த கதிர்வீச்சுக் கொள்கைத்தடையை ஒரு பொருட்டாக மதிக்காத மனப்பாங்குடையவர்களாக விளங்கினர். கொள்கையில் எல்லாமே ஒன்றோடொன்று தொடர்புடையவையாக இருந்ததால் எந்தச் சிறு தடங்கலும் பெருங்கேடு விளைவிப்பதாக இருந்தது. ஏதேனும், ஒரு கருத்து தவறுடையதாக இருந்தாலும் கொள்கை மற்ற கருத்துகளை விளக்குவதையும் நாம் முழுமையாக ஏற்றுக்கொள்ளமுடியாது. சிறிய முரண்பாடுகளை விளக்க இயலாத கொள்கை பெரும் இடர்ப்பாடுகளை நீக்கும் என்று யார்தான் நம்ப இயலும்!

கதிர்வீச்சுக் கொள்கையில் உள்ள இடர்பாடுகளைத் தீர்க்க இயற்பியல் மேதைகள் மிகவும் பாடுபட்டனர். இன்று அவர்களது முயற்சியனைத்தும் பகுத்தறிவுத் தொடர்பின்றித் திகழ்வதைப் போல் காணலாம். இருப்பினும் இந் நிலையில் ஒருவர் யாது செய்யக்கூடும்? முரண்பாடுடைய கொள்கை என்பது தீப்பற்றி எரியும் வீட்டிலிருக்கும் பூனையைப்போன்றது. அந்தப் பூனை, வீட்டிற்குள்ளேயே மூலைக்கு மூலை ஓடிக்கொண்டிருந்தால் ஒரு பயனும் இல்லை. அது வீட்டைவிட்டு வெளியேறி ஏதேனும் ஒரு நீரோடையில் குதிக்கவேண்டும். ஆனால் வீட்டைவிட்டு வெளியேறுவதையும் நீரோடையில் குதிப்பதையும் எல்லா பூனைகளும் மானப் பிரச்சினையாகக் கருதுகின்றன. ஏறத்தாழ இதே நிலை மேற்கூறிய மேதைகளுக்கு ஏற்பட்டது. அவர்கள் ஆயுள் முழுவதும் பாடுபட்ட வீடு பற்றி எரிய ஆரம்பித்தது. அந்த வீடு அவர்களுக்கு மிகவும் பழக்கமானதாகவும் பிரியமானதாகவும் இருந்த காரணத்தால் அதனைவிட்டு வெளியேறும் எண்ணமேயின்றி அவர்கள் அவ் வீட்டுத் தீயை அணைக்க முற்பட்டனர்.

எனினும், முற்போக்கு எண்ணங்கொண்ட மேதைகள் பண்டைய இயற்பியல் கொள்கையின் அழிவு நெருங்கிவிட்டதைத் தெளிவாக உணர ஆரம்பித்தனர். மேலும், வெப்பக் கதிர்வீச்சுக் கொள்கை ஒன்றுமட்டும் அதன் அழிவுக்குக் காரணமாக அமையவில்லை. அதே காலத்தில் ஈதர் கொள்கையும் சரிந்தது. பண்டைய இயற்பியல் கொள்கையின் அழிவு மிகவும் குறுகிய காலத்தில் அமைந்ததால் பலர் முற்றிலும் திகைப்படைந்தனர். அதைத் தடுக்க முடியவில்லை. எதைத்தான் தடுக்கமுடியும்? தவிர்க்க என்ன இருக்கின்றது?

கண்டுபிடிக்கப்பட்ட உண்மைகள்தான் கொள்கைப்படி அமையவில்லை என்றால், உண்மைகளின் நிலை இன்னும் மோசமான

தாக இருந்தது. இயற்கை எந்த விதிக்கும் கட்டுப்பட்டு இருப்ப தாகத் தெரியவில்லை. சிலர் 'இயற்கை அறிந்துகொள்ள முடியாதது' எனக் கூறலாயினர்.

தீவிர பகுத்தறிவாளர்களின் கருத்து மாறுபட்டதாக இருந்தது. கொள்கைகளைக்கொண்டு கண்டுபிடித்த உண்மைகளை விளக்க இயலவில்லை என்றால் கொள்கைகளின் முரண்பாடு இன்னும் அதிகமாக விளங்குகிறது. கொள்கைகள் புதிய கருத்தின் அடிப் படையில் உடனடியாகப் புதிதாக அமைக்கப்படவேண்டிய நிலை யடைந்தது.

அதிகரித்த தேவையின் பயனாகப் பெரும் மேதைகள் தோன்றுவர் என வரலாறு மீண்டும் விளக்கியது. தீர்வு காண முடியாத கருத்துகளைக் கொண்ட கண்மூடித்தனமான முதுபழங் கொள்கையினின்றும் விடுபட 1900-ல் மாக்ஸ் பிளாங்க் என்பவர் துகள் கொள்கையைப் புகுத்தியும் 1905-ல் ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன் என்பவர் சார்புக் கொள்கையைப் புகுத்தியும் வழி கண்டனர்.

'சிக்கல் விலகல்'

பிளாங்க் கண்டுபிடித்தது யாது?

முதன் முறையாக, நாம் அவர் கண்டுபிடித்ததைக் காணும் பொழுது அதை ஒரு கண்டுபிடிப்பு எனக் கூறுவதே கடினம். சூடான பொருள்களின் வெப்பக் கதிர்வீச்சுபற்றி இரு விதிகள் இருந்தன. தனித் தனியாக அவை உண்மையானவையாகவே இருந்தன. ஆனால், அவ் விரு விதிகளையும் ஒன்றாக இணைத்த பொழுதுதான் 'புற ஊதாப் பெருங்கேடு' விளைந்தது. இது, ஒரே நோக்குடைய இருவர் சந்தித்து சிறிதுநேரம் அளவளாவிய பின்னர் முற்றிலும் பைத்தியக்காரத்தனமான கருத்தை வெளியிடுவது போல அமைந்தது. அக் காலத்தில் பிளாங்க் தனது 40ஆம் வயதைக் கடந்து இருந்தார். பல ஆண்டுகளாக வெப்பக் கதிர் வீச்சினைப்பற்றி ஆராய்ந்து வந்தார். அவரது கண்முன்பாகவே முது பழங்கொள்கை அழிவுற்றது. அவரது சகாக்களைப்போலவே அவரும் இக் கொள்கையிலிருந்து விடுபட்டு வெளியேறும் வழிகண்டு வந்தார். கொள்கையின் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடைய காரணங்களைத் திரும்பவும் சரிபார்த்து அவற்றில் தவறில்லை என்ற முடிவுக்கு வந்தார். பிறகு வேறு புதிய பாதையில் (வகையில்) பிளாங்க் சிந்திக்கத் தொடங்கினார்.

இந்த நூற்றாண்டின் இறுதியில் தான் செய்ததுபோல் இளமைத் துடிப்புடனும், கடுமையாகவும், அந்த அளவு ஆர்வத் துடனும் அதற்குப் பிறகு, தான் எப்பொழுதுமே உழைத்ததில்லை

என்பதைப் பல ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் கூறினர். பெரும்பாலும் இயலாதவை என்று தோன்றுபவைகள்கூட அவருக்கு சுலபமாக முடிவடைந்தன. முரணான கருத்து காரணமாக அவர் திரும்பவும் கொள்கையின் கூற்றை ஒவ்வொரு வரியாக ஆராய்ந்தார். அவர் முதலில் மிகவும் எளிய கருத்தினைத் துணைகொண்டார். ராலேயும் ஜீன்ஸும் வெப்பக் கதிர்வீச்சின் இரு விதிகளையும் ஒருங்கிணைத்து குறுகிய அலை நீளங்களுக்குப் பொருந்தாத விதியைப் பெற்றனர். பிளாங்க், இதற்குப் பதிலாக, வீன் விதியையும் ராலே-ஜீன்ஸின் விதியையும் வேறு வழியில் இணைத்தால் பயனளிக்கலாம் எனக் கருதினர்.

அவரது சோதனைக் குறிப்புகளுக்குப் பொருந்தும் வகையி லமைந்த சில பொதுவான தொடர்புகளைப்பற்றி ஆராய்ந்தார். இதன் பயனாக, அத்தகைய தொடர்பு ஒன்றைப் பெற்றார். அத் தொடர்பு தேவை கருதிப் பெறப்பட்டது ஆகும். அதில் வெளிப் படையான காரணங்களில்லாதக் கோவைகளடங்கியிருந்தன. அதாவது, அத் தொடர்பு, தற்செயலாகத் தொடர்பற்ற மதிப்பு களைத் தொகுத்துப் பெறப்பட்டது ஆகும். ஆனல், வியப்பூட்டும் வகையில், இந்தத் தொடர்பு, சோதனை முடிவுகளோடு பெரிதும் ஒத்திருந்தது. இதற்கும் மேலாக, பிளாங்க், இந்தத் தொடர்பி லிருந்து ஸ்டீபன்-போல்ட்ஸ்மன் விதியையும் வீன் விதியையும் நிரூபித்தார். மொத்தத்தில் இந்தத் தொடர்பில் எவ்விதமான தெளிவற்ற கருத்தும் இல்லை. சாதாரணமாக, ஓர் இயற்பியல் மேதைக்கு, இது ஒரு சரியான தொடர்பாகவே தோன்றும். இது வெற்றியா? அல்லது வெளியேறும் வழியா? சரியாகக் கூற இயலாது. பிளாங்க், உண்மையான அறிவியல் மேதைக்கு உரிய பாணியில் அந்தத் தொடர்பின்மீது ஐயம் கொண்டார்.

பியானோவின் சாவிகளை, இருபது முறை தன்னிச்சைப்படி மீட்டினல் ஒரு முறையாவது ஓர் ஒலி நயம் தோன்றும். ஆனல், அது இனிமையாக இருக்குமென்று யாரும் கூற முடியாது. நமது 'தொடர்புகள்' எவற்றிலிருந்தாவது பெறப்பட்டிருக்கவேண்டும். வெற்றிபெற்றவரை விமர்சிக்கக்கூடாது என்ற விதி அறிவியலில் இல்லை. மாறாக, வெற்றிபெற்றிருந்த கருத்தை அடிப்படையி லிருந்தே விமர்சிக்கலாம். வெற்றிபெற்றவர், இயற்கையோடு தான் நடத்திய போட்டியில் ஒவ்வொரு நிலையையும் சான்றோடு நிரூபிக்கும்வரை அவரது முயற்சி வெற்றியாகக் கருதப்பட மாட்டாது. இங்குதான், பிளாங்க் தோல்வி கண்டார். அவர் பெற்றிருந்த தொடர்பு முது பழங்கொள்கையின் விதிகளிலிருந்து பெறப்பட்டதல்ல. இருப்பினும் அது, சோதனை முடிவுகளோடு வியக்கும்வண்ணம் ஒன்றியிருந்தது. இந்த இக்கட்டான நிலைக்கு.

பிளாங்க் ஆளானார். அவர் உண்மைகளுக்குப் புறம்பாக முது பழங்கொள்கையைச் சார்ந்திருந்தாரா? அல்லது உண்மைகளைச் சார்ந்து நின்று முது பழங்கொள்கையோடு போராடினாரா? பிளாங்க் உண்மைகளைச் சார்ந்தே நின்றார்.

'ஆற்றல் கூறுகள்'

முது பழங்கொள்கையிலிருந்து பிளாங்கின் தொடர்பைப் பெறமுடியாது செய்ததென்ன? அது முது பழங்கொள்கையின் அடித்தளமாகக் கருதப்படும் கருத்தாகும். அதாவது, மிகவும் பிரபலமான அந்தக் காலத்து இயற்பியல் மேதைகள் அசைக்க முடியாத அளவுக்கு நம்பிவந்த 'ஆற்றல் தொடர்ச்சியானது' என்ற கருத்தாகும்.

மேலாகப் பார்த்தால் இக் கூற்று, முது பழங்கொள்கையின் கருத்துகளுக்குப் புறம்பானதுபோல் தோன்றும். ஏனெனில், இது பழங்கொள்கை, தோற்றத்திலிருந்தே பொருள்களின் தொடர் பின்மையை அடிப்படையாகக் கொண்டிருந்தது. இது வெளிப் படையானதாகும். உலகில் வெற்றிடம் இருந்தால், எல்லா பொருள்களும் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று பிரிக்கப்பட்டுத் தெளிவான எல்லைகளுடன் விளங்கும். பொருள்கள் ஒன்றோடொன்று தொடர்புற்றுப் பிணைந்து அமைந்திருப்பதில்லை. பொருள்களுக்குள் வேண்டுமானால் நிலை மாறுபட்டிருக்கலாம். ஆனால், பொருள்களுக்குள்ளேயும் எந்த விதமான தொடர்பு நிலையும் இல்லை. பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் மூலக் கூறுகளின் தோற்றத்தையும் அவற்றிற்கிடையே நிலவும் வெற்று இடத்தையும் கருதும்படி முது பழங்கொள்கை வற்புறுத்தப் பட்டது. மூலக்கூறுகளுக்குத் தெளிவான எல்லையுண்டு. எனவே, அவை தொடர்ந்து இல்லை.

தற்செயலாக, இந்த மூலக்கூறுகள் எப்படியோ வெற்றி இடத் தின் வழியாகவே, ஒன்றோடொன்று வினைபுரியத் தொடங்கின. ஃபாரடேயின் காலத்திலிருந்தே முது பழங்கொள்கை அத்தகைய வினைகளை விளக்க முற்பட்டு மூலக்கூறுகளுக்கிடையே ஏதோ ஓர் ஊடகம் இருப்பதாகக் கற்பிதம் செய்துவந்தது. அந்த ஊடகத் தின் வழியாகத்தான் மூலக்கூறுகளின் விளைவுகள் ஒன்றோடொன்று செயற்படுகின்றன என்ற கருத்து நிலவியது.

எனினும் ஆற்றலைப்பற்றி என்னவென்று கூறுவது? மூலக் கூறுகள் ஒன்றோடொன்று மோதும்பொழுது எல்லா அளவிலும் ஆற்றல் பரிமாற்றம் செய்யப்படுகிறது. 'பில்லியர்டு கோளங் களுக்கான' விதிகளையொத்து இப் பரிமாற்றம் நடைபெறுகிறது.

நிலையான மூலக்கூறு ஒன்றை இயங்கும் மூலக்கூறு தாக்கினால், இயங்கும் மூலக்கூறு தனதாற்றலில் ஒரு பகுதியை நிலையான மூலக்கூறுக்குக் கொடுக்கிறது. அதன் பயனாக, இவ்விரு மூலக் கூறுகளும் வெவ்வேறு திசைகளில் இயங்குகின்றன. இரு மூலக் கூறுகளும் நேருக்கு நேராக மோதிக் கொண்டால், இயங்கும் மூலக்கூறு மோதலுக்குப்பின் அமைதி நிலையை அடையலாம். அதற்குப்பின் நிலையாக இருந்த மூலக்கூறு மற்றதன் வேகத்தோடு இயங்கலாம். (இதற்கு இரு மூலக்கூறுகளின் நிறைகளும் சமமாக இருக்கவேண்டும்) எனவே, மூலக்கூறுகள் தொடர்ந்து ஆற்றல் பரிமாற்றம் செய்துகொள்கின்றன.

மூலக்கூறுகளின் இயக்கத்தோடு வெளிப்படையான தொடர் பில்லாத மற்றொரு வகையான ஆற்றல் கண்டறியப்பட்டது. அதுவே அலை இயக்க ஆற்றலாகும். ஒளியானது 'மின்காந்த அலைகள்' என்று மாக்ஸ்வெல் நிரூபித்துவிட்டார். எனவே, அலை களுக்கான விதிகளுக்கு ஒளி ஆற்றலும் (சான்றாக வெப்பத்தின் பயனாய் வெளிப்படும் ஒளி) கட்டுப்பட்டு இருக்கவேண்டும். மீண்டும், இந்த ஆற்றல் தொடர்ச்சியாக இருக்கிறது. இயங்கும் அலை வாயிலாக, ஆற்றல் மொத்தமாக நீரோடைபோல் பரவுகிறது. நீர் எவ்வாறு இடைவெளியின்றி தொடர்ந்த நிலையில் ஒரு பாத்திரத்தை நிரப்புகிறதோ அவ்வாறே ஆற்றலும் தொடர்ந்து செலவிடப்படுகிறது.

வெண்ணெயை நாம் துண்டாக வெட்டியெடுக்கும்பொழுது நாம் அந்தத் துண்டின் தொடர்ச்சியான தன்மையைக் கருது வதில்லை. அதனை மேலும், நாம் விரும்பும் அளவுக்குச் சிறிய பகுதி களாகச் செய்யமுடியும் என்றே கருதுகிறோம். அறிவியலில் மூலக் கூறுகள்பற்றிய கருத்தின் பயனாக மூலக்கூறைவிட சிறிய அளவு துண்டு இருக்கமுடியாது என அறிகிறோம்.

ஆற்றலைக் கருதும்பொழுது அத்தகையத் தெளிவான தன்மை யில்லை எனத் தெரியவந்தது. பொருள்களின் அணுக்கொள்கை, ஆற்றலானது சிறு கூறுகளால் ஆக்கப்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று கூறவில்லை. நம்மைச் சுற்றியும் ஆற்றல் கூறுகளாகத்தான் விளங்கு கின்றன என்று மட்டும் நாம் உணர்ந்தால் போதுமானது ஆகும். சூரியனின் தங்கு தடையற்ற ஒளி வெள்ளம்போல் மெழுகுவர்த் தியின் ஒளியானது அறை முழுவதும் சீராகப் பரவுகிறது. அல்லது மலைச்சரிவில் கீழ்நோக்கிச் செல்லும் நீராவி எஞ்சின், கீழே விழும் கல் ஆகியவற்றின் வேகம் தொடர்ந்து ஆற்றலோடு அதிகரிக்கிறது என்பதைக் கருதுவோம். தற்காலிகமாக, ஆற்றல் சிறு சிறு கூறு களாக, வெளிப்படுகிறது அல்லது சேர்க்கப்படுகிறது எனக்

கருதலாம். பல ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் இருந்த, தடையுற்று நகரும் திரைப்படத்தை நினைவில் கொள்வோம். மெழுகுவர்த்தியின் ஒளிப்பிழம்பு தோன்றுதலையும், மறைதலையும், சூரியன் விட்டுவிட்டு வெளிப்படுதல்போல் படத்தில் பார்க்கின்றோம். அதேபோல் ஆற்றல் கதிர்வீச்சு வெளிப்பட்டுச் சிறிது இடைவெளிக்குப்பின் மீண்டும் வெளிப்படுவதுபோலக் கருதலாம். மலைச் சரிவில் கீழிறங்கும் வண்டித்தொடர் இடைவிட்ட குலுக்கலோடு, குதித்தெழும்பும் கல்போல் செல்கிறது.

பொருள்களைப்போலவே, ஆற்றல் கதிர்வீச்சும் துகள்களாலானது. மேலும், அது வெளிப்படும்பொழுதும் சேகரிக்கப்படும் பொழுதும் சிறு சிறு கூறுகளாக இடைவிட்டு நிகழ்கிறது. இலத்தீன் மொழியில் 'குவான்டம்' என்றால் 'அளவு' எனப்படும். அதன் வழியாகப்பெற்ற 'துகள்' அல்லது 'கூறு' என்ற பெயர் ஆற்றல் பகுதிகளுக்காயிற்று. பிளாங்க், இக் கருத்தை வெளியிடும் பொழுது, மற்றவர்கள் இது அர்த்தமற்றது என்றே கூறினார்கள். ஆனால், பிளாங்க் கூறிய கருத்து பிற்காலத்தில் பெரிதும் வளர்ச்சியுற்றுப் பயனளிக்கும் என்பது அவருக்கே தெரியாது. பிளாங்க்கின் வாய்பாடுக்கு சிறு துகள் அல்லது கூறுகள் என்பது மிகவும் தேவையான கருத்தாகும். அவையின்றி அது தோல்வியுற்றிருக்கும். மேலும், மற்ற கருத்துகளைப்போலவே சான்று கூறுவாரின்றி அறிவியலின் கருத்துக்கிடங்கிற்குப் போயிருக்கும்.

பிளாங்க்கின் வாய்பாட்டிற்கு இந்த ஆற்றல் கூறுகள் உறுதியான அடித்தளமாக விளங்கின. ஆனால், இக் கூறுகளுக்கு முது பழங்கொள்கையின் ஆதரவில்லை என்ற உண்மை, இந்த அடித் தளத்தை அந்தரத்தில் வைத்ததுபோலிருந்தது. இந்த நிலைதான் பிளாங்க்கைப் பெரிதும் வாட்டியது. வாழ்க்கையில், மிகவும் பழக்கமானவற்றைக் கைவிடுதல் என்பது சுலபமல்ல.

'பிடிபடாத கூறுகள்' குவான்டாக்கள்

ஓர் ஒளிக்கூறு என்பது மிகவும் சிறிய அளவான ஆற்றல் ஆகும். மிகச் சிறிய தூசுபோன்ற துகள்களில் பல்லாயிரக்கணக்கான அணுக்கள் உள்ளன. மிகவும் சிறிய மின்னல்பூச்சியிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளி ஆற்றலில் பல்லாயிரக்கணக்கான ஆற்றல் கூறுகள் அடங்கியுள்ளன. இப்பொழுது நாம் இந்த தனித்த சிறு சிறு கூறுகளின் அளவைப்பற்றி ஆராய்வோம். பல்வேறு கதிர்வீச்சுகளுக்கும் இந்தக் கூறுகளின் அளவு பல்வேறாக மாறுபடுகிறது என்ற பேருண்மையைப் பிளாங்க் கண்டறிந்தார். ஒளியின் அலைநீளம் குறையும்பொழுது அதாவது, அதன் அலைவு

எண் அதிகரிக்கும்பொழுது (அது ஊதாப்பகுதியை நெருங்கும் பொழுது) ஆற்றல் கூறின் அளவு அதிகரிக்கும்.

இந்த உண்மை கணித முறையில் $E=h\nu$ என்று கூறப்படுகிறது இதுவே ஆற்றல் கூறுக்கும் அதன் அலைவு எண்ணுக்குமிடையே நிலவும் சிறப்பான பிளாங்க் தொடர்பு எனப்படும். இதில் E என்பது கூறில் உள்ள ஆற்றல் ν என்பது கூறின் அலைவு எண் h என்பது மாறிலி ஆகும். இந்த மாறிலி எல்லா வகை ஆற்றலுக்கும் ஒரே மதிப்புடையதாக அமைந்தது. எனவே, இந்த மாறிலி h பிளாங்க் மாறிலி அல்லது செயற்கூறு என அழைக்கப்படுகிறது. $h=6\times10^{-27}$ எர்க்/விநாடி இந்த மாறிலியின் அளவு எவ்வளவு சிறியதாக இருக்கிறதோ அத்துணை பெருமளவுக்கு இயற்பியலில் இந்த மாறிலி பெருமையுடையதாக இருக்கிறது.

ஆற்றல் கூறின் அளவிட முடியாத இந்தச் சிறிய மதிப்புதான் மெழுகுவர்த்தியின் ஒளியையும் சூரியனின் ஒளியையும் தொடர் பிழம்பாகத் தோன்றச் செய்கிறது. இதனை விளக்க 25 வாட் மின்விளக்கொன்று விநாடியில் வெளிவிடும் ஆற்றல் கூறுகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுவோம். வெளிவிடும் ஒளி மஞ்சள் நிறமுடையது எனக் கருதினால் பிளாங்க் தொடர்பின்படி கூறு களின் எண்ணிக்கை 6×10^{19} எனப் பெறுகிறோம்: இது விநாடிக்கு 60 மில்லியன் மில்லியன் மில்லியன் கூறுகள் ஆகும். இத்துணைக் கூறுகளும் ஒரு 25 வாட் மின் விளக்கிலிருந்து ஒரு விநாடியில் வெளி யாகின்றன.

இந்த அளவு ஆற்றலைத் தனித்தனியாகக் காண, மனிதனின் கண் நுட்பமுடையதன்று என்பது வெளிப்படையாக விளங்குகிறது. எனினும், இது உண்மையல்ல. ஏனெனில், சோவியத் மேதையான S. வவிலவ் என்பவர் 'கண்' மிகவும் நுட்பமான கருவி என்பதைப் பின்வரும் சோதனையால் விளக்கினார். கண்ணின் நுட்பத்தை அதிகரிக்கும்வண்ணம் ஒருவரை இருட்டில் சிறிதுநேரம் இருக்கச் செய்தபின்னர் மிகவும் மங்கலான, விநாடிக்குச் சில ஆற்றல் கூறுகளை மட்டும் வெளிவிடும் ஒரு விளக்கினை ஒளிரச்செய்தார். இருட்டில் இருந்தவரின் கண், இந்த ஒளியைப் பெரும்பாலும் தனித்தனிக் கூறுகளாகவே கண்டு உணர்ந்தது. இதில் முக்கியமாக விளங்குவது கூறுகளின் எண்ணிக்கையன்று. ஆனால், விநாடியில் அவை ஒன்றையொன்று பின்தொடரும் மிக அதிக அளவேயாகும். மிகச்சிறிய விளக்கு கோடிக்கணக்கான கூறுகளை விநாடியில் வெளி விடுகின்றன, என்பதை முன்பே பார்த்தோம். இப்பொழுது மனிதனின் கண், மற்ற கருவிகளைப்போலவே, காலத்தில் பின்தங்கிச் செயற்படும் தன்மையைக் காண்கிறோம். மிக வேகமாக அடுத்

தடுத்துப் பின்தொடரும் காட்சிகளைத் தனித்தனியே காண இயலு வதில்லை. கண்ணின் இந்த சடத்துவம்போன்ற பண்பின் காரண மாகவே நாம் திரைப்படங்களைத் தொடர் காட்சியாகக் காண இயலுகிறது. திரையில் தோன்றும் படங்கள் தனித்தனித் தொகுப்பென்று நாம் அறிந்திருந்தாலும் நாம் அவற்றைத் திரையில் காணும்பொழுது தொடர்ச்சியாகவே தோன்றுகிறது.

ஒளி மூலங்களிலிருந்து வெளிவரும் ஆற்றல் கூறுகள் ஒன்றை யொன்று மிகவேகமாகப் பின்தொடர்கின்றன. எனவேதான், நாம் அதைத் தொடர்ச்சியாகக் காண்கிறோம். வவிலவ் தனது சோதனையை 1930-ல் நடத்தினார். அந்தச் சமயத்தில்தான் பிளாங்க்கின் ஆற்றல்கூறுபற்றிய கருத்து பெரிதும் பரவியிருந்தது. தனது கருத்தை பிளாங்க் தானே நேரடிச்சோதனைமூலம் நிறுவ இயலாத நிலையில் இருந்தார். ஒரு தொடர்பானது சோதனைமூலம் நிறுவப்பட்டிருந்தாலும் அது ஒரு கொள்கையின் அடிப்படையில் பெறப்பட்டதல்ல என்பதால் முதலில் அது சந்தேகத்திற்கு உள்ளா கிறது. மேலும், இந்தத் தொடர்பு, வழக்கிற்குப் புறம்பான கருத்தின் காரணமாக வந்தது ஆகையால் பெரிதும் சந்தேகிக்கப் பட்டது. அதனால்தான், பிளாங்க் தனது கருத்தை பெர்லின் அறிவியல் அகடமியில் வெளியிட்டபொழுது அவ்வளவாக ஆதரவு பெறவில்லை. மேலும், அறிவியல் மேதைகளும் மனிதர்களே யாதலால் வழக்கத்திற்குப் புறம்பானவற்றை ஏற்றுக்கொள் வதற்குத் தயங்கினர்.

முதுபழங்கொள்கைமீது தான் செய்யும் துணிச்சலான தாக்கு தலைப்பற்றி பிளாங்க் நன்கு உணர்ந்திருந்தார். அதற்கான காரணத்தையும் அவர் கூறினார். ஆனால், சில ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர், இதன் பயனாய் ஏற்படும் வியப்பூட்டும் வளர்ச்சி அறிவியல் உலகில் புரட்சி ஏற்படுத்தும் என்று அவர் அப்பொழுது கற்பனைகூட செய்து பார்க்கவில்லை. இருபதாம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில் 1901, 1902, 1903, 1904 ஆண்டுகளில் துகள் கொள்கைபற்றி அவ்வளவாக அக்கறை எடுத்துக்கொள்ளவில்லை. இந்த நான்கு ஆண்டுகளில் அறிவியல்துறையில் வெளியான கட்டுரைகளை நாம் விரல்விட்டு எண்ணுமளவிற்குக் குறைவாகவே இருந்தன.

காரணங்கள் கூறமுடியாத நிகழ்ச்சி

1905-ல் ஸ்விஸ் நாட்டின் உரிமைப் பதிவலகத்தின் உறுப்பின ரான முற்றிலும் முன்னறிமுகமில்லாத ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன் என்பவர் ஜெர்மன் பத்திரிகையான 'பிஸிகலிஸ்ச் ரன்ட்ஸ்சா' வில் ஒளி மின் விளைவுபற்றிய தனது கருத்தை வெளியிட்டார்.

ஒளி மின் விளைவை 1872-ல் A. ஸ்டலிடவ் என்ற மாஸ்கோப் பல்கலைக்கழகப் பேராசிரியர் கண்டுபிடித்தார். ஐன்ஸ்டீன் இது பற்றி ஆராய்ந்த காலத்தில் இந்த விளைவு நன்கு பிரபலமாகி யிருந்தது. இந்த விளைவுபற்றிப் பின்னர் ஜெர்மன் நாட்டைச் சேர்ந்த ஹெரீட்ஸ், லெனுர்டு போன்றவர்கள் ஆராய்ந்தார்கள்.

ஸ்டலிடவ், காற்று நீக்கப்பட்ட ஒரு குடுவையினுள் இரு உலோகத் தகடுகளை வைத்து அவற்றை ஒரு மின்கலத்தோடு இணைத்தார். எதிர்பார்த்ததுபோலவே வெற்றிடத்தின் வழியாக மின்னோட்டம் ஏற்படவில்லை. ஆனால், உலோகத் தகடு ஒன்றின்மீது பாதரச விளக்கொளியைப் பாய்ச்சும்பொழுது உடனடியாக மின்னோட்டம் ஏற்பட்டது. ஒளி பாய்ச்சுவதை நிறுத்திய உடனேயே மின்னோட்டமும் நின்றுவிட்டது. இதிலிருந்து ஸ்டலிடவ் பின்வரும் முடிவுக்கு வந்தார். அதாவது, மின்கடத்திகள் (பின்னர் இவை எலெக்ட்ரான்கள் என்று நிறுவப் பட்டன.) குடுவையினுள் தோன்றின என்றும் தகட்டின்மீது ஒளி பாய்ச்சும்பொழுது மட்டுமே அவை தோன்றின என்றும் கூறினர்.

ஒளி பாய்ச்சப்பட்ட தகட்டிலிருந்து இந்த எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவருகின்றன என்பது வெளிப்படையான உண்மையாகும். இது சூடான திரவத்தின் பரப்பிலிருந்து மூலக்கூறுகள் வாயு நிலையடைவதைப் பெரிதும் ஒத்திருக்கிறது. எனினும், இங்கு 'பெரிதும் ஒத்திருக்கிறது' என்ற பதங்களுக்குப் பெரிதும் மாறு பட்டிருக்கின்றன என்றுதான் பொருள் கொள்கிறோம். ஏனெனில், உலோகத்திலிருந்து எலெக்ட்ரான் வெளிவிடப்படுதல் என்பது அடிப்படையில் வேறுபட்டதாகும். மேலும், இது நமக்கு இனந்தெரியாத நிகழ்ச்சியாக விளங்கியது.

இதை விளக்க ஒளியானது மின்காந்த அலை எனத் தொடங்கலாம். உலோகத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களை ஓர் அலை எவ்வாறு வெளியேற்ற இயலும் என்பதைக் கற்பனை செய்வது கடினமாகும். திரவத்தின் பரப்பில் ஏற்படும் ஆற்றல் மிகுந்த மூலக்கூறுகளின் மோதலினால் ஒரு மூலக்கூறு பரப்பினின்றும் வெளியேற்றப்படுகிறது. ஆனல், உலோகப் பரப்பில் அது போன்ற மோதல் ஏற்படுவதில்லை.

மேலும், மற்றொரு விசித்திரமான நிலை கண்டறியப்பட்டது. ஒவ்வோர் உலோகத்தையும் ஆராயும்பொழுது ஒவ்வொன் றுக்கும் பாய்ச்சப்படும் ஒளிக்கு ஓர் அலைநீள எல்லை உண்டு என்பது புலனாயிற்று. ஒளியின் அலை நீளம் அந்த மதிப்பிற்கு

அதிகமாக இருந்தால், உடனேயே குடுவையினுள் எலெக்ட்ரான்கள் மறைந்தன. அந்த நிலையில் பாய்ச்சும் ஒளியின் செறிவு எவ்வளவு அதிகமாக இருந்தாலும் குடுவையில் மின்னேட்டம் ஏற்படவில்லை. இது முற்றிலும் புதுமையாகவும், புதிராகவும் விளங்கியது. பாய்ச்சப்படும் ஒளி உலோகத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களுக்கு எவ்விதத்திலோ ஆற்றலைக் கொடுப்பதால்தான் உலோகத்திலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன. அதிகச் செறிவுள்ள ஒளி வீசப்பட்டால் அதிக அளவுள்ள மின்னேட்டம் ஏற்படும் அதாவது, உலோகம் அதிக ஆற்றலைப் பெற்று அதிகமான எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடுகின்றன.

ஆனல், ஒளியின் அலைநீளம் எவ்வளவாக இருப்பினும் உலோகம் ஆற்றலைப் பெற்றுக்கொண்டுதானிருக்கும். இது உண்மையே. அலை நீளம் அதிகரிக்கும் பொழுது ஆற்றல் குறையும். அதாவது, குறைந்த அளவு எலெக்ட்ரான்கள்தான் உலோகத் தகட்டிலிருந்து வெளிவிடப்படும். இருந்தாலும், மின்னேட்டம் ஏற்படும். ஆனல், சோதனையில் அலைநீள அதிகரிப்பின்போது சிறிதும் மின்னேட்டம் ஏற்படவில்லை. உலோகத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள், கொடுக்கப்படும் ஆற்றலை ஏற்றுக்கொள்ள மறுத்துவிட்டன போலத் தோன்றியது.

இந்த எலெக்ட்ரான்கள், அவற்றிற்குக் கொடுக்கப்படும் ஆற்றலின் மதிப்பில் ஏன் அதிக கவனம் செலுத்துகின்றன? இதனைப்பற்றிய விளக்கம் இயற்பியல் மேதைகளுக்கு எளிதில் கிட்டவில்லை. (தோன்றவில்லை).

'ஃபோட்டான்கள்'

ஐன்ஸ்டீன் இந்த ஒளியின் விளைவை வேறு விதமாகக் கருதினர். ஒளியினல் உலோகத்திலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் வெளியேற்றப்படுவதைக் கற்பனைத் திரையில் காண முற்பட்டார்.

இயல்பான நிலையில் உலோகத்தைச் சுற்றிலும் எலெக்ட்ரான் கூட்டம் இருப்பதில்லை. இதிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் உலோகத்தோடு ஏதோ வகையான விசையினல் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன என்பது புலனகும். அந்த எலெக்ட்ரான்களை, உலோகத்திலிருந்து பிரித்து வெளியேற்றச் சிறிதளவு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. ஸ்டலிடவ் சோதனையில் இந்த ஆற்றல் ஒளிஅலைகளினல் கொடுக்கப்பட்டது.

ஆனல், ஒளி அலைக்கு மைக்ரான் போன்ற சிறிய அளவுள்ள குறிப்பிட்ட அலைநீளம் உண்டு. எனவே, எலெக்ட்ரான் அமைந்திருக்கும் சிறிய கன அளவில் அலையின் ஆற்றல் முழுவதும் செறி

வுற்று செயற்படுவதுபோல அமைகிறது. அதாவது, ஒளிமின் விளைவில் ஒளிஅலையானது ஒரு மிகச் சிறிய துகள்போலச் செயற் படுகிறது. இது எலெக்ட்ரானைத்தாக்கி அதனை உலோகத்திலிருந்து வெளியேறச் செய்கிறது. எனவே, நியூட்டன் கூறியதுபோல, எலெக்ட்ரானை வெளியேற்றுவது ஓர் ஒளித்துகளாகவே இருக்க வேண்டும். நியூட்டன் கருத்துப்படி ஒளி அலைவடிவுடையதன்று. துகள்களாலானது ஆகும். அவ்வாறெனில், அந்த ஒளித்துகளின் ஆற்றல் எவ்வாறு இருக்கும்? கணக்கீட்டிலிருந்து அதன் ஆற்றல் மிகக் குறைவானதெனத் தெரிகிறது. அப்படியானல், நாம் இந்தத் துகள்களும், ஐந்து ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் பிளாங்க் கூறிய துகள்களும் ஒன்றுதான் என ஏன் கருதக்கூடாது?

எனவே, ஐன்ஸ்டீன் ஒளியானது ஆற்றல் கூறுகளால் ஆக்கப் பட்டது எனவும் அந்தக் கூறுகளனைத்தும் ஒரே அலைநீளத்தைப் பெற்றவை எனவும் கூறினர். அதாவது, அக் கூறுகளனைத்தும் சம அளவுடைய ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும் எனக் கருதினர். பின்னர், இந்த ஒளியாற்றலோடு கூடிய துகள்களை 'ஃபோட்டான்' எனப் பெயரிட்டு அழைத்தனர்.

இப்பொழுது கொடுக்கப்பட்ட விளக்கம் முழுமையானது. சிறிதளவு ஆற்றலோடு கூடிய ஒரு ஃபோட்டான் தேவையான விசையோடு ஓர் எலெக்ட்ரானைத் தாக்கி அதனை உலோகத்தி லிருந்து வெளியேற்றுகிறது. மாருக, அந்த ஃபோட்டானின் ஆற்றல், உலோகத்தோடு எலெக்ட்ரான் கொண்ட பிணைப்பை நீக்கப் போதுமானதாக இல்லையெனில் அந்த ஃபோட்டான் எலெக்ட்ரானை வெளியேற்ற முடியாது. எனவே, மின்னோட்டம் ஏற்படாது. பிளாங்க் தொடர்புப்படி, ஒரு துகளின் ஆற்றல் அதன் அலைவு எண்ணினல் கணக்கிடப்படுகிறது. மேலும், ஒளியின் அலைநீளம் அதிகரிக்க அதன் அலைவு எண் குறைகிறது. எனவே, ஒளிமின் விளைவுக்கு சில குறிப்பிட்ட நிபந்தனைகள் உண்டு என்பது தெளிவாகப் புலனுகிறது. சுருக்கமாகக் கூறினல், ஒளியின் அலை நீளம் மிகவும் அதிகமாக இருந்தால், ஃபோட்டான்கள் உலோகத்தி லிருந்து எலெக்ட்ரான்களை வெளியேற்றப்போதுமான ஆற்றலைப் பெற்றிருக்காது.

இந் நிலையில், எவ்வளவு செறிவான ஒளியைப் பாய்ச்சினுலும் விளைவில் மாற்றம் ஏற்படாது. அதாவது, குறைந்த ஆற்றலோடு எலெக்ட்ரானைத்தாக்கும் ஃபோட்டான்கள் இரண்டேயாயினும் அல்லது ஆயிரமாக இருப்பினும் விளைவில் மாறுதல் இருக்காது. ஃபோட்டான்களுக்குப் போதுமான ஆற்றல் இருந்தால்தான் நிலையில் மாற்றமேற்படும். இப்பொழுது, செறிவான ஒளிபாய்ச்சி

யினல், ஒவ்வொரு வினடியிலும், அதிக ஃபோட்டான்கள் உலோகத்தைத் தாக்குவதால், வெளியேற்றப்படும் எலெக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கும். ஆகவே, அதிக அளவு மின்னேட்டம் ஏற்படும்.

எனவே, ஒளியின்விளைவிற்குத் தேவையான ஒரு விளக்கம் கிடைத்துவிட்டது. ஆனல், பிளாங்க் புனைவுகோள் போன்ற இந்த விளக்கம், முதுபழங்கொள்கையின் அடித்தளத்தைத் தாக்கு கின்றது. ஏனெனில், முதுபழங்கொள்கைப்படி ஒளி, மின்காந்த அலைகளாகவே கருதப்படுகிறது. எக் காரணத்தை முன்னிட்டும், ஃபோட்டான்களாகக் கருதமுடியாது. எனவே, ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கை, ஒளியின் தன்மைபற்றி, இரு நூற்றுண்டுகளாக நிலவிவந்த விவாதத்தை மீண்டும் தொடங்கவைத்தது.

ஒளியின் தன்மை என்ன?

உண்மையில், இந்த விவாதத்தின் சூடு, எப்பொழுதுமே குறைந்ததில்லை. முது பழங்கொள்கை தோன்றிய காலத்திலேயே இந்த விவாதம் எழுந்தது. அதுமுதல் இந்த விவாதம் பெரும் புயலாகத்திகழ்ந்தது. விவாதம் இதுதான், ஒளியின் தன்மை என்ன? அலை வடிவானதா? இல்லை, துகள்களால் ஆக்கப்பட்டதா?

இயற்பியலில், இந்த இரு வகையானக் கருத்துகளும் ஒரே நேரத்தில் தோன்றின. நியூட்டனின் கருத்துப்படி பொருள்கள் ஒளிரும்பொழுது ஒளித்துகள்களைத் தொடர்ந்து வெளிவிடு கின்றன. ஆனல், இதற்கு மாறுபட்ட கருத்துடைய, ஹாலந்து நாட்டு ஐஜன், பொருள் ஒளிரும்பொழுது, ஒரு விதத்துடிப்புடன் ஒளிர்ந்து சுற்றியுள்ள ஊடகத்தில் ஓர் அலையை உருவாக்கும் எனக் கூறினர். இரு கொள்கைக்காரர்களும் ஆரம்பத்திலிருந்தே வாதாடத் தொடங்கினர். இது ஒரு நூற்றுண்டுக்கும் மேலாக, மிகவும் வேகத்தோடு நடைபெற்றது. ஒருவர் மாறி ஒருவர் அடுத்தடுத்து வெற்றி கண்டனர். இறுதியாக 19-ம் நூற்றுண்டின் தொடக்கத்தில் யங், ஃப்ரஸ்னெல், ஃப்ரான்-ஹோபர் ஆகியோரின் சோதனை முடிவுகள் ஒளியின் அலைக் கொள்கைக்கு இறுதியாக வெற்றியைத் தேடித்தந்ததுபோல் தோன்றிற்று. ஒளி இயலில் புதிதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டக் குறுக்கீட்டு விளைவு, விளிம்பு விளைவு, தளவிளைவு போன்றவை ஐஜனின் அலைக்கொள்கை யோடு முற்றும் இசைந்தனவாக இருந்தன. இந்த விளைவுகளை நியூட்டனின் துகள்கொள்கையால் சிறிதும் விளக்கமுடியாது. இவ்விதம், ஒளியியல் வளர்ச்சியுறத் தொடங்கியது. நுட்பமான, ஒளியியல் கொள்கைகள் தோன்றின. மிகவும் சிக்கலான

அமைப்பு வாய்ந்த ஒளியியல் கருவிகள் உருவாக்கப்பட்டன. இறுதியாக ஒளி அலைகளின் மின்காந்தப் பண்பை மாக்ஸ்வெல் விளக்கினார். இது ஒளியியலின் வளர்ச்சிக்கு இறுதிக் கட்டமாக அமைந்தது. அலைக்கொள்கையின் வெற்றி முழுமையானதாகவும் யாரும் எதிர்வாதம் செய்ய முடியாததாகவும் இருந்தது. ஆனால், ஐம்பது ஆண்டுகள் முடிவதற்குமுன்பே மீண்டும் ஒளியின் துகள் கொள்கை புத்துணர்ச்சி பெற்று விளங்கியது. ஒளியின் அலைக் கொள்கையால், ஒளிமின் விளைவை விளக்க இயலவில்லை. இக் குறை அலைக்கொள்கையின் அழகான அமைப்பைக் கெடுத்தது. ஆனால், துகள்கொள்கை ஒளிமின் விளைவை மிகவும் வியப்பூட்டும் வண்ணம் விளக்கும் சிறப்புடையதாக அமைந்தது.

நூற்றாண்டுகளாக நடைபெற்றுவந்த விவாதம் மீண்டும் ஆரம்ப மாகியது. ஆனால், இப்பொழுது விவாதம் புதிய கட்டத்தை யடைந்தது. இரு சாராரும், விவாதத்தில் சோர்வடைந்து ஓர் உடன்பாட்டிற்குத் தயாராக இருந்தனர். இயற்பியல் மேதை களுக்குப் புதிரான, ஆனால், தவிர்க்கமுடியாத உண்மை சிறிது சிறிதாக விளங்கலாயிற்று. அதாவது, ஒளி ஒரே நேரத்தில் அலைப் பண்பையும், துகள்தன்மையையும் பெற்றிருக்க இயலும் என்ப தாகும். ஆனால், ஒளி, இவ்விரு பண்புகளையும் ஏன் முழுமையாகப் பெற்றிருக்கவில்லை? சிலநேரங்களில் ஒளி, துகள்களாலானது போலவும், வேறுசில நேரங்களில் அது அலைகளாக மட்டுமே. விளங்குவதாகவும் தோற்றமளிக்கிறது. இந்த முக்கியமான கருத்தைப்பின்னால் ஆராய்வோம்.

ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கையோடு எழுந்த இரண்டாவது வினாவும் எளியதன்று. ஒளிமின் விளைவில் எலெக்ட்ரான்கள், கொடுக்கப் படும் ஆற்றல் எம் மதிப்புடையதாக இருந்தாலும், ஆற்றலோடு இணைந்து செயற்படுவதில்லை எனத்தோன்றுகிறது. எலெக்ட்ரான் களுக்குக் கொடுக்கப்படும் ஆற்றல் சரியாக ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப் புடையதாகவோ அல்லது அதற்கு மேற்பட்டோ இருந்தால்தான் எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன. அவ்வாறில்லை யெனில், செலுத்தப்படும் ஒளியினால் எந்தப்பயனும் இருக்காது. மேலும், ஓர் எலெக்ட்ரான், அருகில் இருக்கும் அணுக்களோடு எவ்விதப் பிணைப்புமின்றி தனித்து நிலவினால் அது எல்லாவகையான ஆற்றல் கூறுகளோடும் இணைந்து செயற்படவேண்டும் என்பதும் தெரியவந்தது. ஆனால், ஓர் எலெக்ட்ரான் உலோகத்தினுள் அமையப்பெற்றிருக்க வேண்டுமாயின் அதற்கு ஆற்றலின் சரியான அளவுபற்றிய நிபந்தனைகள் பூர்த்தி செய்யப்படவேண்டும்.

இக் கருத்து, இருபது ஆண்டுகளுக்குப் பிறகுதான் விளக்கிக் கூறப்பட்டது.

அணுக்களின் தனிச் சிறப்பான நிறமாலைகள்

இதற்கிடையில் டச்சு நாட்டின் இளம் அறிஞரான நைல்ஸ் போர் என்பவர் நிறமாலைபற்றிய அறிவியலை புதிய, துகள் கருத்தின் அடிப்படையில் விளக்க முற்பட்டார். 20ஆம் நூற்றுண்டில், நிறமாலையியலில் நூறுக்கும் அதிகமான வெளியீடுகள் பிரசுரிக்கப்பட்டன. நிறமாலைப் பகுப்பாய்வு மிகவும் முற்பட்ட நிலையில் நடைபெற்றது. இது வேதியியல், வானியல், உலோகவியல் மேலும் அறிவியலின் மற்ற துறைகளிலும் பெரும் பணியாற்றியது. இந்த நிறமாலைகளைக் கண்டுபிடித்த பெருமை நியூட்டனின் நுண்ணறிவையே சாரும். ஆனுல், நிறமாலைப் பகுப்பாய்வு நூருண்டுகளுக்கு முன்புதான் தோன்றியது. 1859-ல் ஜெர்மன் நாட்டு, வேதியியல் மேதையான புன்சன், நியூட்டனின் பழைய சோதனையைத் திரும்பச் செய்தார். நியூட்டன், சூரியனின் கதிர்களின் பாதையில் ஒரு கண்ணுடி முப்பட்டகத்தை வைத்து நிறமாலையைப் பெற்ருர். புன்சன், சூரியனின் கதிர்களுக்குப் பதிலாக உப்புக் கரைசலில் நனைத்த காகிதத் துண்டு எரிவதால் கிடைக்கும் ஒளிப்பிழம்பைப் பயன்படுத்தினுர். நியூட்டன் சூரியனின் கதிர்களைப் பயன்படுத்திப் பலநிறப் பட்டைகளைக் கண்டார். ஆனுல், புன்சன், அவ்வாறு ஒளிப்பட்டை எதனையும் பார்க்கவில்லை. எரியும் காகிதத்துண்டு சாதாரண உப்பில் (சோடியம் குளோரைடு) நனைக்கப்பட்டதாயிருந்தால், நிறமாலையில் ஓரிரு ஒளி வரிகளைத் தவிர வேறு ஏதுமில்லை. அவ்வாறு கிடைத்த ஒளி வரிகளில் ஒன்று மஞ்சள் நிறத்துடன் விளங்கியது. இந்த உண்மையில் ஆர்வங் கொண்ட, ஜெர்மன் நாட்டைச் சேர்ந்த சிறந்த அறிவியல் நிபுணரான கிர்சாஃப் என்பவரையும் புன்சன் தன்னேடு சேர்த்துக் கொண்டார். இருவரும் பின்வரும், சரியான முடிவுக்கு வந்தனர். அதாவது, கண்ணுடி முப்பட்டகம் அதன்மீது விழும் ஒளியை அவற்றின் அலைநீளங்களுக்கேற்பத் தொகுக்கிறது. சூரிய ஒளி நிறமாலையின் பட்டைகளிலிருந்து சூரியஒளியில் கட்புலனுகும் எல்லா அலைநீளங்களும் அடங்கியுள்ளன என்பது வெளிப்படுகிறது. எரியும் காகிதத்துண்டை ஒளி மூலமாகக் கொண்டிருந்தபொழுது கிடைத்த மஞ்சள் நிற வரியிலிருந்து நாம் உபயோகித்த உப்பின் நிறமாலை ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீளத்தைமட்டுமே பெற்றிருக்கிறது என்பது புலனுகிறது.

சோடியம் குளோரைடின் சூத்திரம் NaCl ஆகும். இதில் புன்சன் பெற்ற மஞ்சள்நிறவரி சோடியத்திஞல் கிடைத்ததா? அல்லது குளோரினுல் கிடைத்ததா? இதனை வெகு எளிதில் காணலாம். ஹைட்ரஜனைக்கொண்டு சோடியத்தை நீக்கினுல் நமக்கு ஹைட்ரஜன் குளோரைடு (HCl) கிடைக்கும். இதனை நீரில்

கரைத்தால் ஹைட்ரோ குளோரிக் அமிலம் கிடைக்கும். காகிதத் துண்டை இந்த அமிலத்தில் நனைத்தபின் அதனை எரியச் செய்தால் நிறமாலையில் மஞ்சள் நிறவரி தோன்றுவதில்லை. இதிலிருந்து மஞ்சள்வரி சோடியத்தினால்தான் ஏற்பட்டது என்பது தெளிவாகிறது. இதனை மீண்டும் பின்வருமாறு சரிபார்க்கலாம். இம் முறை சோடியத்தை வைத்துக்கொண்டு குளோரினை நீக்கலாம். (காஸ்டிக் சோடா NaOH) இம் முறை, உடனேயே நிறமாலையில் மஞ்சள் நிறவரி தோன்றியது. இனியும் இதுபற்றி ஐயம் ஏற்படாது. எப் பொருளோடு சோடியம் அமைக்கப்பட்டிருந்தாலும் அதன் தோற்றத்தை, அது தனக்கே உரித்தான மஞ்சள் நிற வரியினால் வெளிப்படுத்தும். ஆகவேதான், மஞ்சள் நிற வரியை சோடியத்தின் 'வருகைச் சீட்டு' என்கிறோம்.

இந்த அறிமுகப்படுத்திக்கொள்ளும் பண்பிலிருந்து சோடியம் மாறுபட்டதன்று என்ற உண்மை பின்னால்தான் தெரியவந்தது. எல்லா வேதியியல் தனிமங்களுக்கும் தனித்தனி சிறப்பு நிற மாலைகள் உண்டு. சிலவற்றின் நிறமாலைகள் சோடியத்தின் நிற மாலையைவிட சிக்கலான அமைப்புடையதாகவும், சிலவற்றில் மிகவும் அதிகமான வரிகளையுடையதாகவும் விளங்கின. எந்தக் கூட்டுப்பொருளில் இந்தத் தனிமம் அமைக்கப்பட்டிருந்தாலும் அதன் நிறமாலை ஒருவனுடைய புகைப்படம்போல எப்பொழுதும் தனித்து விளங்கியது.

வேதியியல் நிபுணர்கள் பாறைகளிலிருக்கும் தனிமங்களைப் பகுப்பாய்வு முறைகளிலிருந்து கண்டுபிடிக்கிறார்கள். அது போலவே, நாமும் ஒரு பெருங்கும்பலில் ஒரு தனி மனிதனை அக் கூட்டத்தில் உள்ளவர்களின் வருகைச் சீட்டுகளிலிருந்து தேடிக் கண்டுபிடிக்கலாம். ஆனால், இதனினும் எளிதாக, அவனது புகைப் படத்தைக்கொண்டு அவனைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். எனவே, நிறமாலைப் பகுப்பாய்வு முறையில் நாம் நுட்பமாகப் பொருள்களை இனங்கண்டுகொள்ள முடிகிறது. வருகைச் சீட்டுமுறையில் இனங்காணமுடியாத, சூரியன், தொலைவில் உள்ள கோள்கள் மற்றும் எரி உலைகளின் உட்பகுதி மற்றும் பிளாஸ்மா பகுதி போன்ற இடங்களில் உள்ள பொருள்களை நிறமாலைப் பகுப்பாய்வு முறையில்தான் இனங்காணமுடியும்.

இம் முறைக்கு, நமக்குத் தேவையானதெல்லாம், பங்கேற்பவைகளின் புகைப்படங்கள் மட்டுமேயாகும். இன்று நம்மிடம் நூற்றுக்கும் மேலான வேதியியல் தனிமங்கள் இருக்கின்றன. அவை எல்லாமே பெரும்பாலும் அவற்றின் சிறப்பு நிறமாலைகளின்படி பிரிக்கப்பட்டுள்ளன.

பொருள்கள் ஏன் ஒளி வீசுகின்றன?

நிறமாலைப் பகுப்பாய்வின் வெற்றிகள் வியப்பூட்டுவனவாக இருந்தாலும், அம் முறையின் அடிப்படையில் ஒரு குறைபாடு உண்டு. நிறமாலையியல் என்ற கட்டிடம், வெட்பக் கதிர்வீச்சுக்கான கொள்கையின் அடிப்படையில் அமைந்திருக்கிறது. எனவே, வெப்பக் கதிர்வீச்சின் கொள்கையில் இருக்கும் குறைபாடுகளின் சுவடுகளை நிறமாலையியலிலும் காணலாம். இதன் அடிப்படைக் குறைபாடு பின்வரும் வினாவிற்கான விடையில் அமைந்திருக்கிறது. சூடாக்கப்படும்பொழுது பொருள்கள் ஏன் ஒளி வீசுகின்றன?

இந்த ஒளி எவ்வாறு வெளிவிடப்படுகிறது? பொருள்களின் ஆக்கக்கூறுகளான அணுக்களாலும் மூலக்கூறுகளாலும்தான் ஒளி வெளியிடப்படுகிறது என்பது வெளிப்படையான உண்மை யாகும். வெப்பநிலை அதிகரிக்கும்பொழுது மூலக்கூறுகள் வேகமாக இயங்குகின்றன. அதன் பயனாக மூலக்கூறுகளுக்கிடையே ஏற்படும் மோதல்கள் அதிக வேகத்துடனும், அதிக அளவிலும் நடைபெறும். இந்த மூலக்கூறுகள், ஒளிவீசுமளவிற்கு வேகமாக ஒன்றோடொன்று மோதிக்கொள்கின்றன. இவ்வாறுதான் பண்டைக்கால இயற்பியல் வல்லுநர்கள் கருதினர். அவ்வா றெனில் சாதாரண (அறை) வெப்ப நிலைகளில் பொருள்கள் ஏன் ஒளி வீசுவதில்லை? ஏனெனில், அந் நிலையிலும் மூலக்கூறுகள் தொடர்ந்து இயங்கி வருகின்றன? இதற்கான விளக்கம் ஒருவரும் கொடுக்கவில்லை.

1898-ல் ஆங்கிலேய அறிவியல் மேதையான தாம்சன் அணுவிற்கான முதல் மாதிரியை உருவாக்கியபொழுது பொருள்கள் ஒளிவீசுதல்பற்றிய புதிர் விளக்கம் பெறுவதுபோலத் தோன்றியது. இந்த அணுவின் மாதிரியில் அணுக்கள் நேர் மின்னேட்டம் பெற்ற மேகம் போலவும் மின்னூட்டத்தைச் சமனப்படுத்தத் தேவையான அளவுக்கு எதிர் மின்னூட்டம்பெற்ற எலெக்ட்ரான்கள் அந்த மேகத்தினுள் அமைந்தனபோல் விளங்கின. நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற மேகங்களால் எலெக்ட்ரான்கள் ஈர்க்கப்படுவதால் அவற்றின் இயக்கத்தில் தடை ஏற்படுகிறது. ஆனல், முது பழங் கொள்கைப்படி மின்னூட்டம்பெற்ற துகள்களின் இயக்கத்தில் தடை இருந்தால், அவை மின்காந்தக் கதிர்களை வீசவேண்டும். பொருள்கள் சூடுபடுத்தப்படும்பொழுது ஒளிக்கதிர் வீசப்படுகிறது. இந்த ஒளிக்கதிரும் மின்காந்த அலைகளே. எனவே, முதலில் காணும்பொழுது இந்த விளக்கம் கருத்துக்கு இசைந்ததாகவே தோன்றுகிறது. ஒரு பொருளை அதிகமாகச் சூடுபடுத்தினல் அணுக்களில் எலெக்ட்ரான்கள் மிகவும் வேகமாக இயங்கும்.

எனவே, நேர் மின்னூட்ட மேகக் கூட்டத்தால் பெரிதும் தடைப் படும். ஆகவே, அதிகச் செறிவுள்ள கதிர்வீச்சு வெளிப்படும். எலெக்ட்ரான்கள், கதிர்வீச்சின்போது ஆற்றலைச் செலவிடாமல் இருந்தால் மேற்கூறிய நிலைதான் நிலவும். ஆனால், எலெக்ட் ரான்கள் ஒளிக்கதிரை வெளிவிடும்பொழுது மிகவும் வேகமாக தடைக்கு உட்பட நேரிடும். அதாவது, வினாடியிலும் மிகச் சிறிய காலத்தில் இந்த எலெக்ட்ரான்கள் நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற மேகத்தினூடே பணியாரத்தில் உள்ள திராட்சைக் கனிபோல் அமிழ்ந்துவிடும்.

இதில் எங்கோ தவறு இருக்கிறது. பல ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர், தாம்சனின் அணு மாதிரி மற்ற வகையிலும் ஏற்புடைய தன்று என்பது தெளிவாயிற்று. பல வினாக்களுக்கு விடை கிடைக் காமலேயே இருந்தது. இவ்வாறெனில், இந்த எலெக்ட்ரான்கள், நேர்மின்னூட்டம் பெற்ற மேகத்தோடு இணைந்து அவற்றின் மின்னூட்டங்களை இழந்துவிடுமோ என்ற ஐயம் எழுந்தது. இவ் வாறாக, இந்த அணு மாதிரியின் வாயிலாக, சோதனை முடிவு களுக்கு முற்றிலும் மாறுபட்ட ஐயங்கள் எழுந்தன. 1911இல் ஆங்கிலேய நாட்டு மேதையான எர்னஸ்ட் ருதர்ஃபோர்டு என்பவர் அணுவின் அமைப்பிற்கு புதிய மாதிரியைக் கூறினார். ருதர் ஃபோர்டு புதிதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட, கதிரியக்கப் பொருள் களினின்றும் வெளிப்படும் 'α' துகள்களைக்கொண்டு பல திறப் பட்டப் பொருள்களின் அணுக்களையும் தாக்கி சோதனை நடத் தினார். இந்த 'α' கதிர்கள் நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் களால் ஆனவை என்ற உண்மை நன்கு தெரிந்ததே. அணுக்களி னால் ஏற்படும் 'α' துகள் சிதறலைப்பற்றி ஆராய்ந்த ருதர்ஃபோர்டு பெரும் பயனளிக்கும் முடிவுக்கு வந்தார். அதாவது 'α' துகள் களின் சிதறல் தாம்சன் அணு அமைப்பில் கூறப்பட்டதுபோல் நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற பெரியதொரு மேகத்தால் எதிர்த்து ஒதுக்கப்பட்டதுபோல் அமையவில்லை. மாறாக, அணுவின் மையத்தில் அனைத்து நேர் மின்னூட்டமும் செறிவோடு அமைக்கப் பட்ட அணுவின் மிகச் சிறிய பகுதியினால்தான் 'α' துகள் விலக்கப்பட்டிருக்கும் என்று கருதினார். அணுவின் மொத்த நேர் மின்னூட்டமும் அணுவின் மிகச் சிறிய பகுதியில்தான் குவிக்கப் பட்டிருக்கிறது என்பது அவருடைய முடிவாகும்.

ருதர்ஃபோர்டு அணுவின் இச் சிறிய பகுதியை 'கரு' எனக் கூறினார். அவ்வாறெனில் எலெக்ட்ரான்கள் எங்கே அமைந் திருக்கும்? எலெக்ட்ரான்கள் அணுவின் நேர் மின்னூட்டப் பகுதி யோடு ஈர்ப்பு விசையினால் பிணைக்கப்பட்டிருக்கிறது என்ற பழைய கருத்தில் எவ்வித ஐயப்பாடுமில்லை. ஆனால், எலெக்ட்

ரான்கள் அணுக்கருவிலிருந்து சிறிது தொலைவில் அமைந்திருப்ப தால் அணுக்கருவுக்கும் எலெக்ட்ரான்களுக்குமிடையே ஓர் ஈர்ப்பு விசை அவசியமாகிறது. இவ்விசை எல்லா நேரத்திலும் செயற்படவேண்டும் என்பது தெளிவாகப் புலனாகிறது. அணு நெடுங்காலத்திற்கு நிலைத்திருப்பதால் எலெக்ட்ரான்களுக்கும் அணுக்கருவிற்குமிடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசையும் அதன் எதிர் விசையும் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

இந்த அமைப்பில் மையவிலக்கு விசையொன்று இருப்பதாகக் கருதினால் அது மிகவும் பொருத்தமுடையதாகத் தோன்றுகிறது. எலெக்ட்ரான்கள், அணுக்கருவைச் சுற்றி வலம் வருவனபோலத் தோன்றுகிறது. இந்த மையவிலக்கு விசை எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவினுள் விழுந்துவிடாமல் தடுக்கப் போதுமானதாக இருக்கிறதா எனக் கணக்கிடாமல் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக் கருவைச் சுற்றி வினாடிக்குப் பத்தாயிரம் கிலோமீட்டர் வேகத் திலும் அணுக் கருவிலிருந்து 1 செ. மீட்டரில் நூறுயிரக்கணக் கான பகுதிகளில் ஒரு பகுதி தொலைவிலும் அமைந்து சுற்றி வருமாயின், கிடைக்கும் மையவிலக்கு விசை எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவில் விழுந்து விடாமல் தடுக்கப் போதுமானதாக இருக்கிறது என்பது கணக்கீட்டிலிருந்துமே தெரியவருகிறது.

இதுவே ருதர்ஃபோர்டின் அணு மாதிரியாகும். கயிற்றின் ஒரு முனையில் இணைக்கப்பட்ட ஒரு பந்து சுற்றிவரும் இயக்க மானது கோள்களின் ஈர்ப்புபற்றிய நியூட்டனின் கருத்துக்கு மறைமுகமான ஒப்புமையோடு அமைந்தது. அதே இயக்கத்தின் அடிப்படையில் ருதர்ஃபோர்டு மிகவும் சரியானதெனப் பின்பு நிரூபிக்கப்பட்ட அணுக்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின், கோள் இயக்கத்திற்கான கருத்தை விளக்கினார். இப்பொழுது நாம் பொருள்கள் ஒளி வீசும் காரணத்தைக் காண்போம். அதற்கு அணுவின் 'புதிய மாதிரியில்' விடைகாண முயற்சிப்போம். அணுக் கருவைச் சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கம் முடுக்கம் பெற்ற இயக்கமாகும். எலெக்ட்ரான்கள் முடிவுற்ற வட்டப் பாதை களில் இயங்குகின்றன. எனவே, அப்பொழுது மின்காந்தக் கதிர் வீச்சு ஏற்படவேண்டும் தாம்சனின் அணு மாதிரிக்குப் பொருந் தியதுபோலவே முதுபழங் கொள்கையின் விதிகள் ருதர்ஃபோர்டின் அணு மாதிரிக்கும் பொருந்தும். ஆனால், துரதிர்ஷ்டவசமாக வெற்றிவாய்ப்பும் அதுபோலவே அமைந்தது. ஒளியை வெளிவிடு வதால், எலெக்ட்ரான் தனது ஆற்றலைச் செலவிடுகிறது. அதனால் எலெக்ட்ரானின் வேகம் வினாடியில் பல்லாயிரக்கணக்கான பகுதியில் ஒன்றாகக் குறைகிறது. எனவே, எலெக்ட்ரான் நிச்சய மாக அணுக்கருவில் விழுந்துவிடும். இது பூமியின் வளிமண்ட

லத்தில் தடைப்பட்ட வேகத்தோடு இயங்கும் துணைக்கோள் பூமியில் விழுந்துவிடுவதைப்போலவே இருக்கிறது. அந்தத் துணைக் கோளைப்போலவே எலெக்ட்ரானும் குறைந்த ஆயுளைப் பெற்றதாக இருக்கவேண்டும். இந்த நிலையில் ஓர் அணு மிகக் குறைந்த காலத்திற்கே நிலவமுடியும்.

ஆனால், அணுக்கள் தொடர்ந்து நிலவுகின்றன. எனவே, எலெக்ட்ரான்கள், இயக்கத்தின் காரணமாக ஆற்றலைச் செல விடக்கூடாது. மேலும் ஒளி வீச்சும் இருக்கக்கூடாது. ஆனால், பொருள்களைச் சூடுபடுத்தினால் அவை ஒளி வீசுகின்றன!

நீல்ஸ்போர் எழுதிய அணுவின் வரலாறு

முதுபழங்கொள்கை மீண்டும் சிக்கலடைந்தது. கற்பனை செய்யமுடியாத அளவுக்கு மோசமான நிலையுற்றது. சூடான பொருள்கள் ஒளி வீசுவதை அதனால் விளக்கிக் கூற இயலவில்லை. மேலும் நிறமாலையின் தோற்றத்திற்கான விளக்கம் கொடுக்கவும் இயலவில்லை. சோடியம் குளோரைடு கரைசலில் தோய்க்கப் பட்டக் காகிதத் துண்டினை நினைவு கொள்க. அந்த உப்பின் நிற மாலையில் ஒரே ஒரு மஞ்சள் நிறவரி மட்டுமே இருந்தது. அதாவது, அந்தப் பொருளின் அணுக்களிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சில் ஒரே ஓர் அலைநீளம் மட்டுமே இடம் பெற்றிருந்தது என்பது பெறப்படுகிறது.

இந்த மஞ்சள் நிறவரி, அணுவில் தடைப்பட்ட எலெக்ட் ரானால் வெளிவிடப்பட்டது எனக் கருதினாலும், நமக்கு உடனே மற்றொரு கஷ்டம் இருக்கிறது. முதுபழங்கொள்கைப்படி அத்தகைய எலெக்ட்ரான் ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளங்கொண்ட ஒளியை மட்டும் வெளியிட முடியாது. ஆனால், எல்லா அலை நீளங்களையும் கொண்ட வரிகளுடன் கூடிய நிறமாலையைத் தோற்றுவிக்க வேண்டும். அதாவது, எலெக்ட்ரானின் நிறமாலை சூரியனின் நிறமாலையிலிருந்து வேறுபட்டதாக இருக்கக்கூடாது. ஆனால், நமக்குக் கிட்டியிருப்பதோ ஒரே ஒரு மஞ்சள் நிறவரி மட்டுமே யாகும்.

இந்தக் கருத்தில் ஏதோ தவறு இருப்பதை போர் உணர்ந் தார். ஆனால், அந்தத் தவறு என்ன? அணுவைப்பற்றி ருதர்ஃபோர்டு கூறிய கருத்து தவறுடையதாக இருக்கலாம். ஆனால், அந்தக் கருத்தை அவ்வளவு சீக்கிரமாகவே புறக்கணித்து விடவில்லை. மேலும், போரின் ஆசிரியரான எர்னஸ்ட் ருதர் ஃபோர்டும் இதேபோல் கருத்தில் உள்ள தவறை உணர்ந்திருந்தார். எனவே, அந்தக் கருத்தைத் திருத்தி சிறப்படையச் செய்வதற்

கான முயற்சி மேற்கொள்ளப்படவேண்டுமெனக் கருதினர். அதாவது அணுக்கருவைச் சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரான் ஒளியை வெளிவிடவேண்டும். ஆனல், அணுக்கருவில் விழுந்து விடக் கூடாது. இதனைக் கொள்கைமூலம் பெறவேண்டும்.

அது 1912-ஆம் வருடம் அப்பொழுது இயற்பியல் மேதைகளிடம் ஐன்ஸ்டீன் தனது ஃபோட்டான் பற்றிய கருத்தினல் தோற்றுவித்த வியப்பு புத்துணர்ச்சியோடு விளங்கியது. மேலும், அதற்கு மூன்று ஆண்டுகளுக்கு முன்புதான் அதே ஐன்ஸ்டீன் தனது சார்புக் கொள்கையை வெளியிட்டிருந்தார். அதுவும், இவர்களை வியப்பில் ஆழ்த்தியது. இயல்பாக முதுபழங்கொள்கை மீது அமைந்த இந்தத் தாக்குதல்கள் இளம் இயற்பியல் மேதைகளை ஊக்குவித்ததோடு அவர்கள் புதுமையான, புரட்சியான கருத்துகளைச் சிந்திக்கத் துணிவளித்தன.

தொடர்ந்து குழம்பிக் கொண்டிருந்த போர் இறுதியாக ஒரு கருத்தைப் பெற்றுர். அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான் ஏன் தொடர்ந்து ஒளியை வெளிவிட வேண்டும்? ஏனெனில், அது எப்பொழுதும் முடுக்கப்பட்ட இயக்கம் பெற்றிருந்தது. நாம் இந்தக்கருத்தை ஒதுக்கிவிட்டு பின் வருமாறு கருதலாம். அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்; முடுக்கம் பெற்று இயங்கினலும் அது ஒளியை வெளிவிடவேண்டிய அவசியமில்லை. இது எவ்வாறு இயலும் எலெக்ட்ரான் அணுக் கருவைச் சுற்றி, ஒரு குறிப்பிட்ட பாதையில் இயங்கவேண்டும். இது எப்படி வேண்டுமானலும் இருக்கமுடியாது. இதனைச் 'சுற்று' எனக் கூறலாம். இந்தச் சுற்றில் இயங்கும் எலெக்ட்ரான் ஒளியை வெளிவிடவில்லை என்றுல் அந்நிலையில் அது தொடர்ந்து விரும்பும் காலம் வரை இருக்கலாம்.

ஆனல், இந் நிலையை முதுபழங்கொள்கையிலிருந்து எவ்வழியாகவும் பெறமுடியாது. மேலும், இந் நிலை எந்த கொள்கையிலிருந்தும் பெறப்பட்டதன்று. போர், தனது கருத்தை நிரூபிக்க இயலவில்லை. எனவே, அவர் அடக்கத்துடன் தனது கருத்தையொரு தற்கோள் எனக் கூறினர். மேலும், போர் தனது கொள்கையினல், இக் கருத்தை எப்பொழுதுமே நிரூபிக்க இயலவில்லை. இக் கருத்து சுமார் 10 ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு, சற்றும் எதிர்பாராத நிலையில் நிரூபிக்கப்பட்டது. இதனைப் பற்றி நாம் பிற்பகுதியில் காண்போம். ஆனல், அணுவில் எலெக்ட்ரான் ஒளியை வெளிவிடா வண்ணம் இயங்கவல்ல சுற்றுகள் எத்தனை அமைந்திருக்கின்றன? போர், அவற்றின் எண்ணிக்கை மிகவும் அதிகம் எனக் கணக்கிட்டார். இந்த சுற்றுக்களின் தெளிவான

தனிச்சிறப்பென்ன? அணுக்கருவிலிருந்து அவற்றின் சராசரி தொலேவு ஆகும். அணுக்கருவிற்கு அருகாமையிலும், தொலே விலும் சுற்றுகள் உள்ளன. மேலும், இங்கு சுற்றுகளின் தொலேவு முக்கியமல்ல. ஒரு சுற்றில் உள்ள எலெக்ட்ரான் பெற்றிருக்கும் ஆற்றலே நமக்குத் தேவை அணுக்கருவிற்கு அருகில் உள்ள எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவில் விழுந்துவிடாமலிருக்க வேகமாகச் சுற்றவேண்டும். அதேபோல் தொலேவில் உள்ள எலெக்ட் ரான்கள் சற்று மெதுவாகச் சுற்றிவரலாம்.

எனவே, எலெக்ட்ரான்களின் சுற்றுகள் அவைகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றலேக் கொண்டு வேறுபடுகின்றன என்பது முடிவாகிறது. ஓர் எலெக்ட்ரான் தனது சுற்றில் இருந்து இயங்கும் வரை ஒளி வெளிவிடப்படுவதில்லே. இந்நிலேயில் போர் இரண்டாவதாக, ஒரு தற்கோளேப்புனேந்தார். ஒரு சுற்றில் உள்ள எலெக்ட்ரான் திடீரென்று குறைந்த ஆற்றல் உள்ள மற்ரெரு சுற்றுக்குக் குதிப்பதாகக் கருதுவோம். மிகைப்பட்ட ஆற்றல் எங்கு சென்றது? ஆற்றல் ஒன்றுமில்லே என மறைத்து விடமுடியாது. எனவே, போர் ஆற்றலே அணுவிற்கு வெளியே தேடினர், அணுவிலிருந்து இந்த மிகைப்பட்டஆற்றல் ஒரு கூருக வெளிப்படுகிறது. இதுதான் ஒளிஆற்றலேப் பற்றி ஐன்ஸ்டீன் கூறிய துகள் அல்லது கூறு ஆகும்.

ஒரு ஃபோட்டானே வெளிவிட்ட எலெக்ட்ரான் வேறு ஒரு புதிய சுற்றில் அமைகிறது. அது மேற்கொண்டு ஆற்றலே வெளிவிடு வதில்லே. ஓர் எலெக்ட்ரான் தனது சுற்றிலிருந்து மற்ரெரு சுற்றுக்குத்தாவும் மிகக்குறுகிய காலத்தில் இந்த ஃபோட்டான் வெளிவிடப்படுகிறது. இதற்கிடையில், வெளிவிடப்பட்ட ஃபோட்டான் மற்ற அணுக்களுக்கிடையில் சென்று இறுதியில் பொருளிலிருந்து வெளிப்படுகிறது. இதனே நாம் நேரடியாகக் காணலாம். அல்லது நிறமாலேமானியில் உள்ள கண்ணுடி முப்பட்டகத்தின் வழியாகச்செலுத்தி வெளியேறும் பொழுது அதனேப்படம் பிடிக்கலாம். புகைப்படத்தட்டில் ஃபோட்டானின் உண்மையான பிம்பத்தை ஒரு கருநிறவரியாக நாம் காண்பதற்கு முன்பாக அது பல மடங்காக மாற்றப்படுகிறது.

இந்த வரியிலிருந்து நாம் பல உண்மைகளேப் பெறமுடியும். தகட்டில் அந்த வரியின்நிலேயை அளந்தறிந்து ஃபோட்டானின் அலேநீளத்தையும் அலேவுஎண்ணேயும் நாம் கணக்கிடலாம் பின்பு ஃபோட்டான்களின் ஆற்றலுக்கும், அலேவு எண்ணிற்கு மிடையேயுள்ள பிளாங்க் தொடர்பிலிருந்து ஃபோட்டான்களின் ஆற்றலேப்பெறலாம். இந்த ஆற்றலும் அணுவில் எலெக்ட்ரானின்

பழையசுற்று மற்றும் புதுச்சுற்றுக்கிடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறு பாடும் சமமதிப்புடையதாக இருக்கின்றன. புகைப்படத்தகட்டில் உள்ள வரியின் கருமையின்செறிவு வெளிவிடப்பட்ட ஃபோட்டான் களின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கும். அதிக ஃபோட்டான்கள் வெளிவிடப்பட்டால் வரியானது அதிகம் கருமையாக விளங்கும். அதிக ஃபோட்டான்கள் வெளிவிடப்பட்டால் அவற்றை அதிகப் பொலிவுடைய பொருள் வெளிவிட்டிருக்கவேண்டும்.

இந்த விளக்கம் எவ்வளவு எளிமையாகவும், நேர்த்தியாகவும் இருக்கிறது!

ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளின் எல்லா அணுக்களும் சரியாக ஒரே மாதிரியாக இருக்கின்றன. எனவே, எலெக்ட்ரான்கள் எல்லாம் அதே நிலையில் விளங்குகின்றன. எனவே, எலெக்ட் ரான்கள் இரு சுற்றுக்களுக்கிடையே குதிக்கும்பொழுது வெளிவிடப் படும் ஃபோட்டான்களும் அதே அளவுடையதாக இருக்கும். இரு சுற்றுக்களுக்கிடையே நிகழும் மொத்த மாற்றங்களின் பயனாக இறுதியில் நமக்கு ஒரே ஒரு வரிமட்டும் நிறமாலையில் கிடைக்கிறது.

அதிக ஆற்றலுடைய சுற்றிலிருந்து எலெக்ட்ரான் குறைந்த ஆற்றலுடைய சுற்றுக்கு ஒவ்வொருமுறை குதிக்கும்பொழுதும் ஒரு ஃபோட்டான் வெளிவிடப்படும். ஆனால், சுற்றுக்களின் ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையே வேறுபாடு இருப்பதால் ஃபோட் டான்கள் வெவ்வேறு ஆற்றல்களையும், அலைவு எண்களையும் பெற்றி ருக்கும். ஆகையால், ஒரு புகைப்படத்தட்டில் குறுகிய வரிகளின் தொகுப்பைக் காணலாம். ஹைட்ரஜன் வாயுவின் நிறமாலை இது போலவே தோற்றமளிக்கிறது. அது மாறுபட்ட அலைநீளங்களைக் கொண்ட பத்துக்கும் மேற்பட்ட வரிகளைப்பெற்றிருக்கிறது. பொதுவாகக் கூறினால் சோடியம்போல ஒற்றைவரி நிறமாலை போன்ற எளிய அமைப்பு பெற்றிருப்பது அரிதாகும். நிறமாலைகள் பொதுவாகப் பத்துக்கும் மேற்பட்ட வரிகளைப்பெற்றே விளங்கும். சில சமயங்களில் ஆயிரக்கணக்கான வரிகளையும் பெற்றிருக்கும். சிலவேதியியல் கூட்டுப்பொருள்களின் நிறமாலையமைப்பு, அதனின்றும் எந்த உண்மையையும் எளிதில் பெறும் வாய்ப்பின்றி சிக்கலானதாக அமைந்திருக்கிறது. ஆனால், அவற்றைச் சில விதி முறைகளின்படி ஆராய்ந்தால் எளிதாக உண்மைகளைப் பெறலாம்

போர் கொள்கை தோன்றுவதற்கு முன்னால் சில சிக்கலான நிறமாலைகளிலிருந்து கருத்துகளைப் பெறுவது மிகவும் கடினமாக இருந்தது. ஆனால், போர் நிறமாலையென்பது அணுவின் சிறப்பாக அணுவில் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்புபற்றிய வரலாறு என்பதை நிரூபித்தபிறகு நிறமாலைகளை ஆராய்வது மிகவும் எளியதாயிற்று.

நாம் செய்யவேண்டிய தெல்லாம். நிறமாலையில் நாம் காணும் வரிகளைக் கணக்கிட்டுப் பெறும்வரை அணுவில் உள்ள பல்வேறு எலெக்ட்ரான் சுற்றுகளையும் பொருத்திப் பார்ப்பதேயாகும்.

அதேபோல், ஒரு நிறமாலையை ஆராய்வதுமூலம் அணுவில் எலெக்ட்ரான்கள் இருந்த நிலைபற்றிய எல்லா முடிவுகளையும் பெறலாம். இது மிகவும் முக்கியமானதாகும். உண்மையில், நமக்கு அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான் சுற்றுகளைப்பற்றித் தெரிந்தவையனைத்துமே அவற்றின் நிறமாலைகளைக் கடும் உழைப் போடு ஆராய்ந்து பெற்றவையே ஆகும்.

ஆற்றலை எதிலிருந்து கணக்கிடுகிறோம்?

ஓர் அணு எவ்வாறு ஒளியை வெளிவிடுகிறது என்பதை போர் விளக்கிக்கூறினார். அது ஏன் என்பதை இப்பொழுது காண்போம். அதிக வெப்பநிலைகளில்மட்டுமே பொருள்கள் ஒளியை வெளிவிடு கின்றன. சாதாரண வெப்பநிலைகளில் அப் பொருள் ஏன் ஒளியை வெளிவிடுவதில்லை?

இந்த வினாவிற்கு விடையளிக்கும் முன்னர் நாம், தற்காலிக மாக வேறு சிலவற்றைப்பற்றிக் கருதவேண்டியிருக்கிறது. நாம் சற்று முன்புகூறிய கருத்துக்கிசைந்த அணுவின் அமைப்பினைத் தலைகீழாகக் கருதலாம். அதில் தவறேது மிருப்பதால் அவ்வாறு செய்யவில்லை. தலைகீழாகக் கருதப்படும்பொழுது எலெக்ட்ரான் சுற்றுகளின் வரிசை திருத்தியமைக்கப்படவேண்டும். நாம் அணுக்கருவிற்கு அருகில் உள்ள எலெக்ட்ரான் சுற்றுகளுக்கு ஆற்றல் அதிகம் எனக் கருதிய நிலையில், ஓர் எலெக்ட்ரான் வெளிச் சுற்றுக்குக் குதிக்கும்பொழுது ஒரு ஃபோட்டான் வெளிவிடப்படு வதாகக் கருதினோம். ஆனால், உண்மையில் இந்த நிலைமாறுபட்ட தாக இருக்கிறது.

இதுபற்றிய கருத்தைப்பெற நாம் நிலத்தில் ஒரு துளையிருப்ப தாகக் கருதுவோம். துளையின் அடியில் ஒரு பந்தையும் நிலத்தின் பரப்பில் துளைக்கருகில் ஒரு பந்தையும் வைத்தால் எந்தப் பந்து அதிக ஆற்றலோடு விளங்கும்?

ஓர் அறிவாளி உடனேயே பின்வரும் வினாக்களை எழுப்புவான் 'கேட்கப்பட்டவினா தெளிவாக இல்லை. முதலில் நாம் கருதுவது நிலையாற்றலா? அல்லது இயக்க ஆற்றலா? இரண்டாவதாக, எந்த மட்டத்திலிருந்து நாம் நிலையாற்றலைக் கணக்கிடுகிறோம்?' பூமியின் மட்டத்திலிருந்து நாம் நிலையாற்றலைக் கணக்கிடுவதாக இருந்தால், நிலமட்டத்தில் துளைக்கருகில் உள்ள பந்தின் நிலையாற்றல் சுழி

யாகும். துளைக்குள்ளிருக்கும் பந்தின் நிலையாற்றல் சுழியைவிடக் குறைவாக இருக்கும். அதாவது, எதிர்க்குறிபெற்ற நிலையாற்றலாக இருக்கும். மாருக, துளையின் அடிப்பகுதியிலிருந்து நாம் பந்தின் நிலையாற்றலைக் கணக்கிடுவதாக இருந்தால் துளையின் அடியில் உள்ள பந்தின் நிலையாற்றல் சுழியாகவும், துளைக்கருகில் நிலமட்டத்தில் உள்ள பந்தின் நிலையாற்றல் சுழியைவிட அதிகமாகவும் இருக்கும். இரு பந்துகளும் நிலையாக இருப்பதால் அவற்றின் இயக்க ஆற்றல் இரு நிலையிலும் சுழியாகவே அமையும். நாம் முதலில், முதல் வகைப்படிக் கருதுவோம். ஆனால், பந்து இயங்குவதாகக் கருதினால் அதன் இயக்க ஆற்றலை, அதன் நிலையாற்றலோடு கூட்டவேண்டும். எனினும், மொத்த ஆற்றல் எனப்படும் இவ் விரு ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகை, பந்து துளையைவிட்டு வெளியே செல்லாமலிருந்தால், எதிர்க்குறியுடையதாகவே இருக்கும். ஆனால், பந்து துளையைவிட்டு வெளியேறி நிலப்பரப்பில் இயங்கினால் அதன் மொத்த ஆற்றல் நேர்க்குறியுடையதாக விளங்கும்.

வாசகருக்கு, இந்த நீண்ட விளக்கம் சற்று சிரமமாக இருந்தாலும், இது பல கருத்துகளை இப்பொழுதும், பின்பும் நன்கு அறிந்துகொள்ள உதவும். நமக்கு வேண்டிய கருத்து இதுவே: ஆற்றல் கண்ணோட்டத்துடன் பார்த்தால் அணுவில் உள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான், துளையில் உள்ள பந்தைப்போன்றது. தனித்து சுயமாக விளங்கும் எலெக்ட்ரான் நிலப்பரப்பின்மீதுள்ள பந்துக்கு ஒப்பாகும். நிலையாக, தனித்து இருக்கும் எலெக்ட்ரானின் மொத்த ஆற்றலை சுழி எனக்கருதிப் பிற எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றலைக் கணக்கிட இயற்பியல் மேதைகள் இசைந்தனர்.

உண்மையில் எலெக்ட்ரானுக்கும், பந்துக்கும் பல கருத்துகள் பொதுவானதாக இல்லை. அவை யிரண்டும், கட்டுப்பாட்டுடன் இயங்குகின்றன என்பது அவற்றிற்குப் பொதுவாக உள்ளது. பந்து தானுக துளையைவிட்டு வெளியேறமுடியாது. அதுபோலவே, எலெக்ட்ரானும் தானுக அணுவிலிருந்து தப்பி வெளியேற முடியாது. அதனுல்தான் அணுவின் அமைப்பு நிலையாக இருக்கிறது. பந்து, துளையின் மேல் பக்கத்திற்கு அருகில் நெருங்கியிருந்தால் அதாவது, துளையின் அடிப்பக்கத்திலிருந்து அதிகத் தொலைவில் இருந்தால் அதன் மொத்த ஆற்றல் அதிகமாக இருக்கும் (அதாவது அதன் ஆற்றலின் எதிர்க்குறி மதிப்புக் குறைவாக இருக்கும்). இந்த உண்மை எலெக்ட்ரானுக்கும் பொருந்தும். எலெக்ட்ரான், அணுக்கருவிலிருந்து அதிகத்தொலைவில் இருந்தால் அதன் மொத்த ஆற்றல் அதிகமாக இருக்கும். அணுக்கருவிற்கு அருகில் எலெக்ட்ரான் இருந்தால் அதன்மொத்த ஆற்றல் குறை

வாக இருக்கும். (அதாவது, இயல்பாக, அதன் எதிர்க்குறி ஆற்றல் அதிகமிருக்கும்).

எனவே, இறுதியாகத் தொகுத்துப் பின்வருமாறு கூறலாம். ஓர் எலெக்ட்ரான், அணுக்கருவிற்கு அருகில் உள்ள சுற்றுக்குக் குதிக்கும்பொழுது அதன் ஆற்றலைக் குறைத்துக் கொள்ளும். எனவேதான், இத்தகைய மாற்றங்களின்பொழுது ஃபோட்டான்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன. மறுதலையாக சுற்றானது அணுக்கருவிலிருந்து அதிகத் தொலைவில் இருந்தால் அதில் உள்ள எலெக்ட்ரான் அணுவிலிருந்து தப்பியோடும் நிலையை நெருங்கி இருக்கும். மேலும் எலெக்ட்ரான் அதிக ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். இப்பொழுது நாம் நம்முடைய பழைய கருத்துக்குத் திரும்புவோம்.

கிளர்ச்சியுற்ற அணுக்கள்

நாம் மீண்டும் துளையில் உள்ள பந்தைப்பற்றிக் கருதுவோம். அது ஏன் கீழே விழுவதில்லை? இது ஒரு சாதாரணக் கேள்வியாகும். ஏனெனில், அந்தப் பந்து வேறு எங்கும் விழமுடியாது. இதேபோன்ற நிலையைக் குறைந்த வெப்பநிலையில் அணுக்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் பெற்றிருக்கின்றன. எலெக்ட்ரான்கள், எங்கும் குதிக்கமுடியாது. அணுக்கருவிற்கு மிக அருகாமையில் உள்ள சுற்றில் எலெக்ட்ரான்கள் அமைந்திருக்கும். இச் சுற்றுக்கு அருகில் அணுக்கருதான் அமைந்திருக்கிறது. பந்து எவ்வாறு பூமி வழியாக ஊடுருவி வெளியேற முடியாதோ, அதேபோல எலெக்ட்ரான்கள் எக் காலத்திலும் அணுக்கருவிற்குள் குதிக்க முடியாது.

இந் நிலையில், எலெக்ட்ரான் மிகக் குறைந்த மதிப்புடைய ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கிறது. எனவே, எலெக்ட்ரான் இழப்பதற்கு எதனையும் பெற்றிருக்கவில்லை. ஆகவே, அதனால் எவ் வித ஒளியையும் வெளிவிட முடியாது.

எனவே, தொடக்கத்தில் எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவிலிருந்து தொலைவில் அமைந்த சுற்றில் இருந்தால்தான் பின்பு அருகில் சுற்றுக்குக் குதிக்கமுடியும் என்பது தெளிவாகிறது. இப்பொழுது ஒரு வினா எழுகிறது. எலெக்ட்ரான் எவ்வாறு வெளிச்சுற்றில் அமைக்கப்படுகிறது? துளையின் மேல் பாகத்தில் பந்து நம்மால் வைக்கப்படுகிறது. அதாவது, ஓரளவு ஆற்றலைக் கொடுத்துதான் பந்தின் நிலை உயர்த்தப்படுகிறது.

எலெக்ட்ரானுக்கும் இதே கருத்து பொருந்தும். எலெக்ட்ரானைத் தொலைவில் உள்ள சுற்றில் அமைக்க நாம் ஓரளவு

ஆற்றலைக் கொடுக்கவேண்டும். குறிப்பாக இரு சுற்றுகளின் ஆற்றல் வேறுபாட்டிற்குச் சமமான ஆற்றலையாவது நாம் எலெக்ட்ரானுக்குக் கொடுத்தாகவேண்டும். ஆற்றலைக் கொடுப்பதற்குப் பல வழிகள் உள்ளன. பொதுவாக அணுக்கள் வெப்ப இயக்கத்தினுல் ஒன்றோடொன்று மோதிக் கொள்கின்றன. அப்பொழுது தேவையான ஆற்றலைக் கொடுத்துவிடுகின்றன. சாதாரண வெப்பநிலைகளில் இந்த மோதல்கள் இயல்பாக நடைபெறுகின்றன. ஆனுல், கிடைக்கும் ஆற்றல் போதுமானதல்ல. வெப்பநிலை அதிகரித்து 100°, $1{,}000^\circ$ என்று இருக்கும்பொழுது இந்த மோதல்களில் ஆற்றல் மாற்றம் நடைபெறுகிறது. எலெக்ட்ரான்கள் அடுத்த சுற்றுக்குக் குதித்து ஒளியை வெளி விடுகின்றன.

ஆற்றல் கொடுக்கப்பட்டதும் எலெக்ட்ரான் வெளிச் சுற்றுக்குச் செல்கிறது. பின்பு நடப்பதென்ன? எலெக்ட்ரான் வெளிச் சுற்றில் குறைந்த காலம் இருக்கவும் அணுக்கரு அனுமதிப்பதில்லை. எனவே, அணுக்கரு எலெக்ட்ரானை உள் சுற்றுக்கு ஈர்த்துக் கொள்கிறது. அவ்வாறு எலெக்ட்ரான் உள் சுற்றுக்குக் குதிக்கும் பொழுது ஒரு ஃபோட்டான் வெளிவிடப்படுகிறது. நமது கண்கள் அந்த ஃபோட்டானைப் பெற்று உணர்வதால் நாம் பொருள் ஒளியை வெளிவிடுகிறது என்று கூறுகிறோம்.

பொருள் இப்பொழுது ஒளியை வெளிவிட்டுக் கொண்டிருக்கிறது. இப்பொழுது நாம் பொருளின் வெப்பநிலையை உயர்த்தி என்ன நடக்கிறது என்பதைக் காண்போம். அணுக்களின் வெப்ப இயக்கம் ஆற்றல்மிக்கதாயும் மோதல்களின் தன்மை வலிமையானதாகவும், எண்ணிக்கை அதிகரித்தும் காணப்படுகிறது. எலெக்ட்ரான் அதன் அகச் சுற்றில் மிகவும் குறைந்த காலத்திற்கே தங்குகிறது. அணுக்கள் திரும்பத் திரும்ப அடிக்கடி கிளர்ச்சியூட்டப் பெறுவதால் அவை தன் இயல்பு நிலைக்கு வந்தவுடனேயே வெளியேறி விடுகின்றன. இந் நிலையில் ஒவ்வொரு வினுடிக்கும் கோடிக்கணக்கான ஃபோட்டான்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன. இதனுல் பொருளின் வெப்பநிலை திடீரென உயருகிறது. (ஸ்டீபன் போல்ட்ஸ்மன் விதியை நினைவு கொள்க.)

ஆனுல், இங்கு வெளிவிடப்படும் ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கைமட்டும் அதிகரிப்பதில்லை. எலெக்ட்ரான்களின் தாவும் தொலைவும் அதிகரிக்கிறது. முதலில் தயங்கியபடி ஏற்படும் எலெக்ட்ரான் குதிப்பு அடுத்தச் சுற்றில் நிற்கும். பின்னர் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவிலிருந்து அதிகத் தொலைவில் உள்ள சுற்றுகளுக்கும் குதிக்கின்றன. அந்தத் தொலைச் சுற்றுகளி

லிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் இயல்பு நிலைக்குத் திரும்பும்பொழுது அதிக வலிமையுள்ள ஃபோட்டான்களை வெளிவிடுகின்றன. ஃபோட்டான்களின் ஆற்றலை அதிகரித்தால் அவற்றின் அலைவு எண் அதிகரிக்கும். அதாவது, அலைநீளம் குறையும். அதாவது வெளிவிடப்படும் ஒளி பொலிவுடையதாகவும் அலைநீளம் குறைந்த தாகவும் இருக்கும். (வீன் இடப்பெயர்ச்சி விதியை நினைவு கொள்க.)

இவ்வாறு போரின் கொள்கையைக் கொண்டு வெப்பக் கதிர் வீச்சின் தன்மையையும் நிறமாலையியலையும் ஒருங்கே விளக்கிக் கூறலாம். இந்த மாபெரும் வெற்றிக்குப் பின்னர், ஒளியின் துகள் தன்மையும் அணுவியலின் தன்மையும் வெளிப்படையாகத் தெரியவந்தன. குறுகிய காலத்தில் இவை எல்லா இயற்பியல் மேதைகளாலும் ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டுப் போற்றப்பட்டன.

கொள்கையின் குறைபாடுகள்

போர் கொள்கை முழு வெற்றி பெற்றதாக நாம் அவ்வளவு சீக்கிரம் கூறிவிட முடியாது. ஏனெனில், இக் கொள்கை பின்பு பத்தாண்டுகளில் பெரிதும் வளர்ச்சியடைந்தது. மேலும் இது தழுவிய கருத்துகளிலும் பெரும் வளர்ச்சி ஏற்பட்டது. அணுக்கள் ஒளியை வெளிவிடுதல், உட்கவர்தல், அணுக்கள் மற்றும் மூலக்கூறுகளின் தெளிவான அமைப்பு போன்றவை அவற்றில் சில ஆகும். 1914-ல் கோஸல் என்பவர் குவான்டம் வேதியியல் துறைக்கு அடிக்கல் நாட்டினர். அது பெரிதும் வளர்ச்சியுற்று அதுபற்றிய எல்லா நூல்களிலும் இடம் பெற்றிருக்கிறது. 1916-ல் சோமர்ஃபெல்டு அணுவின் நிறமாலைக்கான தோற்று மூலத்திற்கான சரியான கொள்கையைத் தோற்றுவித்தார். இன்று இக் கொள்கை சிக்கலான நிறமாலைகளைப் புரிந்து கொள்ளப் பெரிதும் உதவுகிறது. மேலும், இந்தப் புதிய கொள்கை புதிதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அணு மற்றும் மூலக் கூறுகளின் மின்பண்புகள் மற்றும் காந்தப் பண்புகளை விளக்கு கிறது. ஆனால், அதே நேரத்தில் போரின் கொள்கைக்கு அடுத் தடுத்து சோதனைகள் தோன்றின. இக் கொள்கையைத் தோற்று வித்த உண்மைகள் உட்பட பல புதிய உண்மைகளை விளக்க இயலவில்லை. எந்த நிறமாலையைப் போரின் கொள்கை விளக் கியதோ, அதே நிறமாலையில் இடர்ப்பாடு தோன்றியது. அதாவது நிறமாலையை முழுமையாக விளக்கப் போர் கொள்கை போது மானதாக இல்லை.

நிறமாலையில் வரிகள் அலைநீளங்களாலும் ஒளிச் செறிவாலும் வரையறுக்கப்படுகின்றன என்பதை முன்பே பார்த்தோம்.

போர் கொள்கைமூலம் எலெக்ட்ரான் சுற்றுகளின் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவைக் காணலாம். அதாவது, சுற்றுகளுக்கிடையே எலெக்ட்ரான் குதிக்கும் பொழுது வெளியாகும் ஃபோட்டான்களின் அலைநீளத்தைக் காணலாம். ஆனால், நிறமாலையில் வரிகளின் ஒளிச்செறிவைப் பற்றி போர் கொள்கை ஏதும் கூற இயலவில்லை. நிறமாலையில் பதிவான ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கையைச் சரியாகக் கணக்கிட இயலவில்லை. ஆகவே, முதுபழங் கொள்கையைப் போர் கொள்கை வெற்றி கண்டுவிட்டது என்று அவ்வளவு எளிதாகக் கூறிவிடமுடியாது. தொடக்கத்தில், முதுபழங் கொள்கையின் கருத்துகளைப் புறக்கணித்தாலும், போர், பின்னால் அவற்றை நாடவேண்டியிருந்தது. இதுவே, ஒத்திசைவுத் தத்துவம் என விளங்குகிறது.

சுருங்கக் கூறினால் முதுபழங் கொள்கையைக் கொண்டு நிறமாலையின் ஒளிச் செறிவைக் கணக்கிடலாம். ஆனால் தோற்றத்தை விளக்கமுடியாது. குவான்டம் கொள்கை, நிறமாலையின் தோற்றத்தை நன்கு விளக்கியது. ஆனால், நிறமாலையின் வரிகளின் ஒளிச்செறிவைப்பற்றி ஒன்றுமே கூறவில்லை. எனவே, இவ் விரு கொள்கைகளையும் உபயோகிக்க வேண்டும் என்று போர் முடிவு செய்தார். அவை ஏறத்தாழ ஒரே கருத்துரைக்கும் பகுதிகளில் அவற்றை ஒருங்கே பயன்படுத்திக் கொள்ளவேண்டும்.

இவ்வாறு எங்கே இரு கொள்கைகளும் ஒரே கருத்தைக் கூறுகின்றன? முதுபழங் கொள்கைப்படி அணுக்கருவைச் சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரான் தொடர்ந்து அணுக்கருவை நெருங்கி இறுதியில் அணுக்கருவில் விழுந்துவிடும். இந் நிலையில் அது ஒரு தொடர்ந்த நிறமாலையைத்தான் தோற்றுவிக்கும். தனித்த வரிகளைத் தோற்றுவிக்க முடியாது. குவான்டம் கொள்கைப்படி அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான் பல்வேறு வரிகளைத்தான் தோற்றுவிக்க முடியும். அதாவது, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறமாலையைத்தான் கொடுக்கும். இவ் விரு நிறமாலைகளுக்கும் பொதுவாக விளங்கும் கருத்தென்ன?

எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் மட்டங்கள் பல்வேறு உயரங்களில் இருக்கின்றன. இது ஓர் ஏணியின் படிகள் வேறுபட்ட உயரங்களில் அமைந்திருப்பது போலாகும். அணுக்கருவிலிருந்து தொலைவில் உள்ள சுற்றுக்கான ஆற்றல் மட்ட உயரம் குறைவாக இருக்கும். ஒரு நீண்ட ஏணியை ஒரு முனையிலிருந்து பார்த்தால் மறு முனையில் ஏணிப்படிகள் நெருக்கமாக அமைந்திருப்பதுபோலத் தோன்றும் அதுபோலவே அணுவின் ஆற்றல்-ஏணி விளங்குகிறது. உண்மை

யான ஏணியில் நாம் பெற்ற கருத்து ஒரு பார்வை மருட்சி ஆகும். ஆனால் அணுவில் இதுவே உண்மையான நிலையாக விளங்குகிறது.

ஆனால், ஆற்றல் மட்டத்தின் உயரம் ஃபோட்டானின் ஆற்றலை அல்லது அதனுடைய நிறமாலை வரியின் அலைநீளத்தைப் பொறுத்து அமையும். எனவே, நிறமாலையின் அதிக அலைநீள வரிகள், அணுக்கருவிலிருந்து தொலைவில் அமைந்த இரு நெருங்கிய சுற்றுகளுக்கிடையே எலெக்ட்ரான் குதிப்பதால் கிடைப்பதாகும். இந்த மிக நெருக்கமான சுற்றுகளுக்கிடையே எலெக்ட்ரான் குதிப்பது அதிக அலைநீள வரிகளை ஒரே தொடர் நிறமாலை போல் தோற்றமளிக்கச் செய்கிறது. எனவே, குவான்டம் நிறமாலையின் அதிக அலைநீளப்பகுதி, முதுபழங் கொள்கைப்படி அமைந்த நிறமாலையின் அதே பகுதியிலிருந்து மாறுபட்ட தன்மை உடையதாக இருக்கக்கூடாது. இப் பகுதியில் குவான்டம் நிறமாலையின் ஒளிச் செறிவை முதுபழங் கொள்கையைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். பிறகு குவான்டம் நிறமாலையின் முழுப் பகுதிக்கும் இதேமுறையில் ஒளிச்செறிவைக் கணக்கிடலாம். இதுவே ஒத்திசைவுத் தத்துவம் எனப்படும்.

இது மிகவும் சிறப்பு வாய்ந்த கருத்தாக விளங்கியது. எனினும் நடைமுறையில் அதிகம் பயனளிக்கவில்லை. சோதனை வாயிலாகக் கிடைத்த முடிவுகள் கொள்கைப்படியான முடிவு களிலிருந்து மாறுபட்டதாக அமைந்தன.

பொதுவாகக் கூறினால், நாம், இதற்கும்மேலாக எதிர் பார்க்கக்கூடாது. ஏனெனில், ஒரு கொள்கையானது சில கருத்துகளை விளக்க முற்படும்பொழுது மற்றக் கொள்கைகளின் உதவியை நாடும்பொழுது அக் கொள்கை மிகவும் வலிமையுள்ள தாக (சிறப்புள்ளதாக) இருக்கமுடியாது. உண்மையில் பிறஉதவி நாடும் இக் கொள்கை வலிமையற்றதாகவே விளங்குகிறது. குவான்டம் கொள்கையில் முதுபழங் கொள்கையைப் புகுத்துவது 'முதுபழம் மதத்தையும்,' 'குவான்டம் மதத்தையும்' அடுத் தடுத்த நாட்களில் தொடர்ந்து போதிப்பதுபோல இருக்கிறது என்று ஆங்கிலேய மேதையான பிராக் (Bragg) கூறினார்.

அறிவியல் துறை சில நேரங்களில் இரு தேவதைகளைப் போன்ற கொள்கைகளை நாடிப் பயனடைந்தாலும் அது கொள் கையின் பலவீனத்தைக் காட்டுவதாகவே அமைகிறது. புதிய கொள்கையை (போரின் கருத்து) சற்று ஊன்றிக் கவனித்தால், ஒத்திசைவுத் தத்துவம் ஒன்றுதான் போர் கொள்கையின் குறை பாடு எனக் கூறமுடியாது. உண்மையில் தொடக்கத்திலிருந்தே கொள்கையின் அடிப்படைக் கருத்துகள் முதுபழங் கொள்கையின்

சுவடுகளாகவே விளங்கின. எலெக்ட்ரான் இயக்கம்பற்றிய முதுபழங் கொள்கையின் கருத்துகளைப் போர் புறக்கணித்தார். எனினும், அணுவில் எலெக்ட்ரான் சுற்றுகளைப் புகுத்தினார். மேலும் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச் சுற்றிவருவது, பூமி சூரியனைச் சுற்றி வருவது போலவே இருக்கிறது என்று உறுதியாகக் கருதினார். சுற்றுகளில் இருக்கும் எலெக்ட்ரான்களின் கதிர் வீச்சுக்குத் தடைவிதித்தார். ஆனால், அதற்கான காரணத்தை அவரால் கூறமுடியவில்லை. அணுவில் ஃபோட்டான்களின் தோற்றத்திற்கு போர் கொள்கை சரியான விளக்கம் கொடுத்தது. எனினும், அந்த நிகழ்ச்சி புதிராகவே இருந்தது. அந்த விளக்கம் எந்தத் தற்கோள்களின் அடிப்படையிலிருந்தும் பெறப்படவில்லை.

போர் கொள்கையின் இரு வகையான பண்புகள் வெகு சீக்கிரத்தில் வெளிப்படையாகத் தோன்றின. புதிதாகத் தோன்றிய உண்மைகள் இக் கொள்கையின் வரம்பிற்குள் அடங்க வில்லை. எனினும், இக் கொள்கை சிறப்புடையது. ஏனெனில், அணுவைப்பற்றி அறிய முற்படும்பொழுது இது மிகவும் சிறப்பான முதற்படியாக விளங்கியது. இக் கொள்கைக்குக் குறைபாடுகளும் உண்டு. முதுபழங் கொள்கையால் விளக்கிக் கூறமுடியாத பல உண்மைகளை இக் கொள்கை நன்கு விளக்கியது. ஆனால், அது போலவே பல உண்மைகளை இக் கொள்கை விளக்க இயலவில்லை.

நாம் முன்னேறிச் செல்வதற்கான நேரம் வந்தது. முன்னேற்றமும் ஏற்பட்டது. அதற்கு ஃபிரான்சு நாட்டைச் சேர்ந்த லூயி டி பிராலி என்பவர் முன்னோடியாகத் திகழ்ந்தார்.

‘போர்’ கொள்கையிலிருந்து குவான்டம் கொள்கைவரை

குறிப்பிடத்தக்க கட்டுரை

1924-ல் ‘ஃபிலசாஃபிகல் மேகஃஸின்’ என்ற ஆங்கிலப் பத்திரிகையின் செப்டம்பர் மாத ஏட்டில் லூயி டி பிராலி என்ற புதிய மேதையொருவர் கட்டுரை வரைந்திருந்தார். பொருள் அலைகளின் தோற்றம்பற்றிய அக் கட்டுரையில் அவரது கருத்துகளை அவர் தொகுத்திருந்தார்.

பொருள்களின் அலைகளா? ஒலி, ஒளி போன்ற அலைகள் நிலவுகின்றன. அவற்றை நாம் உணர்ந்து அறிகிறோம். அல்லது கருவிகளில் பதிவு செய்துகொள்கிறோம். பொருள் அலைகளும் அதுபோன்ற அலைகளா?

இல்லை. டி பிராலி; வேறு வகையான அலைகளைக் கருத்திற் கொண்டிருந்தார் எனத் தெரியவருகிறது. டி பிராலி கூறிய கருத்து வழக்கத்திற்குப் புறம்பானதாகவும் புரட்சிகரமானதாகவும் இருந்தது இக் கருத்து. இருபத்தைந்து ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் பிளாங்க் கூறிய கருத்தைப்போலவே புதுமையாக விளங்கியது. இக் கருத்து இயற்பியல் துறையில் மிகவும் முக்கியமான தொன்றாக விளங்கியது. மேலும் பல அறிஞர்களும் பிளாங்க் கொள்கையை எவ்வாறு சந்தேகித்தார்களோ அதைப்போலவே டி பிராலியின் கருத்தையும் சந்தேகித்தார்கள்.

எவ்வாறாயினும் இந்தப் பொருளலைகள் யாவை? இதனைப் பற்றி ஆராயும் முன்பாக நாம் சாதாரண அலைகளைப்பற்றி சற்று சிந்திப்போம். சாதாரண அலைகளைப்பற்றி நன்கு அறியப்பட்டு வந்தது.

சாதாரண அலைகளைப்பற்றிய சிறு குறிப்பு

நீர் நிற்கும் குட்டையொன்றில் கல்லெறிந்துவிட்டு நீர்ப் பரப்பின்மீது அலைகள் பரவுவதைக் காண்போமாக. பரப்பு அலைகளை மட்டும்தான் அவை இயக்கத்திலிருக்கும்பொழுது நாம் நேரடியாகக் காணமுடியும். நீரும் அலையோடு சேர்ந்து நகருவதுபோலத் தோன்றும். ஆனால், உண்மை அதுவன்று. அந்த நம்பிக்கையில் தான் நீரில் காகிதக் கப்பலை மிதக்கவிட்ட சிறுவன், கல்லெறிந்து கப்பலை மீண்டும் கரைசேர்க்க முற்படுகிறான். ஆனால், அவன் கல்லெறிந்து அலைகளை உருவாக்குவதால் அந்த இடத்திலேயே கப்பல் மேலும் கீழுமாக அசைகிறது. இதிலிருந்து நீர்ப் பரப்பில் அலை பரவும்பொழுது, நீர் அலையோடு நகருவதில்லை. ஆனால், அந்த இடத்திலேயே மேலும் கீழும் அசைகிறது என்ற உண்மை தெளிவாகிறது. பெரிய கற்களையெறிந்து தோற்றுவிக்கப்படும் பெரும் அலைகளைக் கருதினால் நீரானது மிகச் சிறிய தொலைவுதான் நகரும். எக் காலத்திலும் அதிகத் தொலைவிற்கு நகராது.

ஆஸ்திரேலியாவிலும் ஹவாய்த் தீவிலும் சிறந்து விளங்கும் 'கடல் நுரையில் சவாரி செய்தல்' என்ற விளையாட்டில் பெரிய பரப்பலைகளின் தூக்கிச் செல்லும் பண்பானது பயன்படுத்தப்படுகிறது. பெரியதொரு பலகையை கடலில் மிதக்கவிட்டு அதன்மீது அந்த விளையாட்டு வீரர் நின்றால் கடலலைகளால் அப் பலகை மேலும் கீழும் நகர்ந்து கரை நோக்கித் தள்ளப்படுகிறது. கடலலையில், அவர் அப் பலகையோடு மிக வேகமாக கரையை நோக்கித் தள்ளப்படுகிறார். ஆனால், சற்று கவனம் தவறினாலும் கடலலையின் மேல்பகுதியில் இருப்பதற்குப் பதிலாக அலையின் அடிப் பகுதியில் அவரைத் தள்ளிவிடும்.

அபாயகரமான, மெய்சிலிர்க்கவைக்கும் இந்த வீர விளையாட்டில், கடலலை; இந்த விளையாட்டு வீரரைத் தாங்கிய நிலையில் முன்னோடியாகச் செயற்பட்டு கரையை நோக்கித் தள்ளுகிறது. முன்னோடி அலை என்ற தொடரை நினைவில் கொள்வோமாக. பிற்பகுதியில் இதனைக் காண்போம். ஒலியும் அலையியக்கம் பெற்றது என்று கடந்த நூற்றாண்டில் இயற்பியல் மேதைகள் அறிந்தார்கள். ஒலி அலைகள், காற்றிலும், நீரிலும், திடப் பொருள்கள் வழியாகவும் பரவுகின்றன என்று கண்டறியப் பட்டது. ஒலியலையில் அதிர்வுறுவது யாது? ஒலியலை பரவும் ஊடகத்தின் துகள்கள்தான் அதிர்வூட்டப் பெறுகின்றன. அதாவது, காற்று நீர்போன்றவைகளின் மூலக்கூறுகளும் திடப் பொருளின் அணுக்களும் அதிர்வு நிலையடைகின்றன.

காற்று, நீர் மற்றும் எந்த ஊடகமுமே இல்லாதிருப்பின் ஒலியலை பரவாது. அதாவது வெற்றிடத்தில் ஒலி ஆற்றல் பரவாது. வருங்கால விண்வெளி வீரர்கள், காற்றில்லாத கோள்களில் ஏற்படும், எரிமலைகளின் கொந்தளிப்பு, பூகம்பம் போன்றவற்றை அமைதியாக ஏற்படும் நிகழ்ச்சிகளாகவே காண்பார்கள். அதாவது, பூகம்பம் ஏற்பட்டால் அவர்கள் காலடியில் ஏற்படும் பூமியின் அதிர்ச்சியை உணரத்தான்முடியும். ஆனல், கேட்கமுடியாது. நிலாவில், விண்வெளிக்கப்பல் அமைதியுடன்தான் புறப்படும். பூமியில் கேட்பதுபோல, எந்திரங்களின் இரைச்சலேதும் கேட்காது.

ஒலியைப்பற்றி அறிந்தது போலவே, கடந்த நூற்றுண்டில், இயற்பியல் மேதைகள் மின்னூட்டங்களின் இயக்கத்தினல் தோற்றுவிக்கப்படும் மின்காந்த அலைகளின் பண்புகளையும் அறிந் திருந்தனர்.

தொலைவில் உள்ள விண்மீன்களிலிருந்தும் விண்மீன் கூட்டங் களிலிருந்தும் வெளியாகி பூமியை வந்தடையும் ஒளி மற்றும் ரேடியோக்கதிர்கள் பல்லாயிரக் கணக்கான, ஆண்டுகளுக்கு முன்னரே கிளம்பியவையாகும். அவற்றின் பாதை பெரும்பாலும் பிரும்மாண்டமான வெற்றிடமாகவே இருக்கிறது. நிலாவில், விண்வெளி வீரர்கள் தங்கள் கப்பலின் அடிப்பகுதியிலிருந்து தீப்பிழம்புகள் அமைதியுடன் வெளிப்படுவதைக் காண்பார்கள். வெற்றிடத்தில் ஒருவர் காதால் கேட்கமுடியாது. கண்ணல் பார்க்கத்தான் இயலும். மின்காந்த அலைகளுக்கும் ஒலியலை போன்ற எந்திர அலைகளுக்கும் இதுவே அடிப்படையான வேறு பாடு ஆகும். மின்காந்த அலைகள் பரவ ஊடகமேதும் தேவை யில்லை. மாருக, ஊடகமிருந்தால், அலைகளின் வேகம் குறைந்து விடுகிறது.

'பொருள் அலைகளோடு அறிமுகமாதல்'

நாம், பொருள் அலைகளைப்பற்றிக் காண்போம். பொருளானது கோள், கல், தூசு மற்றும் எலெக்ட்ரான் போன்றவற்றில் எதுவாக இருப்பினும் அது இயங்கும்பொழுது பொருள் அலைகள் தோற்று விக்கப்படுவதாக டி பிராலி என்பவர் கூறினர். மின்காந்த அலைகளைப்போலவே, பொருளலைகளும் வெற்றிடத்தில் ஊடுருவிப் பரவமுடியும். ஆனல், இந்த அலைகள், மின்னூட்டம் இல்லாத பொருளடங்கிய எல்லாப் பொருள்களின் இயக்கத்தினலும் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. எனவே, பொருள் அலைகள் மின் காந்த அலைகள் அன்று.

அந்தக் காலத்தில் இயற்பியல் மேதைகள் வேறு வகையான அலைகளைப்பற்றி அறிந்திருக்கவில்லை. எனவே, பொருள் அலைகள் முற்றிலும் புதிய வகையானதாகக் கருதப்பட்டது. பழம் மேதைகள், பொருள் அலைபற்றிய கருத்து முற்றிலும் தவறுடையது எனக் கூறினர்.

எல்லாவிதமான அலைகளும் முன்னரே கண்டுபிடிக்கப்பட்டு விட்டன என்று அவர்கள் உறுதியுடன் நம்பினர். ஆனால், இந்த இளம் மேதையான டி பிராலி 'பொருள் அலைகள்' எந்திர அலைகளன்று மேலும், அவை மின்காந்த அலைகளுமன்று என்று கூறினார். பொருள் ஏதுமின்றி அலைகள் அன்று, உண்மையில் எதுவுமேஅன்று.

உண்மைதான். அவருடைய அலைகளுக்கான நல்லதொரு பெயரை டி பிராலி எண்ணிப் பார்க்கவில்லை. ஆனால், அவர் ஏதும் செய்ய இயலாது. ஏனெனில், புதிய கருத்துகளைச் சரியாகப் புரிந்துகொள்ளும் முன்னரே அக் கருத்துகளுக்கு பெயர் சூட்டப்படுகின்றன.

டி பிராலி அலையிலும் அதுபோலவே நடந்தது. அவர் நிரூபித்த பொருள் அலைகள் இன்னும் அறிஞர்கள் விவாதிக்கும்வண்ணம் நுட்பமானதாகும். தற்காலக் குவான்டம் கொள்கையின் அடித்தளமே இந்த டி பிராலி அலைகள்தான். எனவே, நாம் அவற்றைப் பற்றி மேலும் காண்போம்.

'டி பிராலி அலைகளை ஏன் காண இயலாது?'

பெரும்பாலும் இதுதான், இயற்பியல் மேதைகள் டி பிராலியை நோக்கி எழுப்பிய முதல் வினாவாகும். சரி. நாம் அலைகளை எவ்வாறு காண்கிறோம்? அலைகளை நாம் நமது உறுப்புகளைக்கொண்டு மட்டுமே காண்பதில்லை. ஏனெனில், நமது உறுப்புகள் அவ்வளவு நுட்பம் வாய்ந்தவையன்று. வினாடிக்கு 20 முதல் 16,000 அதிர்வுகள் கொண்ட ஒலியை மட்டுமே மனிதன் தன் காதால் கேட்டறிய முடியும். ஒலியின் இந்த அதிர்வெண்கள் காற்றில் 17 மீட்டர் முதல் 2 செ.மீ. வரை அலைநீளங்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. 0·4 முதல் 0·8 மைக்ரான் அலைநீளம் பெற்ற ஒளியை மட்டுமே மனிதன் கண்ணால் பார்க்க இயலும். அலைகளைப்பற்றியறிய உதவும் இயற்கையின் 'ஜன்னல்கள்' இவைதான். (கடலின் பரப்பலைகளை நாம் புறக்கணித்து விடுகிறோம்.)

மனிதனின், உணர்திறத்திற்கு அப்பால் அமைந்த அலைகளை, இந்த இரு ஜன்னல்களுக்குள்ளாக அமையுமாறு மாற்றியமைக்க இயற்பியல் மேதைகள் சிறப்புக் கருவிகளைப் பயன்படுத்துகிறார்கள். இதன் பயனாகத்தான் நாம் அலைகளைப்பற்றிப் பெரிதும் அறிந்து

கொள்ளமுடிகிறது. ரேடியோப் பெட்டிகள், உலகின் பல்வேறு பகுதிகளிலிருந்தும் பூமிக்குவரும் ரேடியோ அலைகளைப்பெற்று நாம் அவற்றை அறியும்வண்ணம் நமக்கு வழங்குகின்றன. 'பொறி எண்ணிகள்;'[1] அணுக் கருவிலிருந்து வெளியாகும் காமாக் கதிர்களைக் கண்டறிய உதவுகின்றன. காமாக் கதிர்கள், ஒரு மில்லி மீட்டரின் பல கோடிப்பகுதிகளில் ஒரு பகுதியை, அலை நீளமாகக் கொண்ட மின்காந்த அலைகளாகும்.

இதிலிருந்து, நாம் பல்வேறு அலைநீளங்களைக்கொண்ட கதிர்களைப்பற்றி அறிந்துள்ளோம் எனத் தெளிவாகிறது. இருந்தும் நாம் இதுவரை டி பிராலி அலைகளைப்பற்றியறியும் வாய்ப்பு ஏற்படவில்லையா என்ற வினா எழுகிறது.

இதில் டி பிராலி அலைகளை எவ்வாறு அறிவது என்பதே பிரச்சனையாகும். மீட்டர் அலைநீளங்களைக்கொண்ட எந்திர அலைகளாக இருந்தால் (சான்றாக ஒலியலைகள்) நாம் காதால் கேட்டு அறியலாம். ஆனால், இந்த அலைகளை ரேடியோவில் கேட்க இயலாது. அதேபோல்,ரேடியோ அலைகளை மட்டுமே ரேடியோவில் கேட்கமுடியும். இதனை வேறு வகையாகவும் கூறலாம். ரேடியோ அலைகளை மனிதக் காதினாலும் அல்லது அவை பல மீட்டர் நீளமுடையதாக இருந்தால் மற்ற எந்திரங்களாலும் கேட்டுணர முடியாது. ஒவ்வொரு வகையான கருவியும் அதற்குரிய அலை வரிசைக்குமட்டுமே பயனாகும். காது, ஒலியலைகளுக்கும் கண், கட்புலனாகும் மின்காந்த அலைகளுக்கு மட்டுமே பயனாகும். இவ்வகைகளில் அடங்காத டி பிராலி அலைகளை எவ்வாறு காண்பது? உண்மையில் நாம் ஆரம்பத்தில் எழுப்பிய வினாவிற்கு விடையதுவே. அதனைப்பற்றிப் பிற்பகுதியில் விரிவாகக் காண்போம்.

இந்தப் பொருளலைகளின் அலைநீளங்களைக் காண்பதன்மூலம் அந்த வினாவிற்கு மற்றுமொரு விடையைப் பெறலாம். டி பிராலி இயங்கும் பொருள்களின் நிறை மற்றும் திசை வேகங்களை இப்புதிய அலைகளின் நீளங்களோடு ஒப்பிட்டு ஒரு தொடர்பைப் பெற்றார். அது பின்வருமாறு :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

இத் தொடர்பில் λ-டி பிராலி அலைநீளத்தையும், m-பொருளின் நிறையையும் v-அதன் திசைவேகத்தையும் குறிக்கின்றன. h-என்பது நாம் முன்புகூறிய பிளாங்க் மாறிலியாகும்.

[1] 'பொறி எண்ணி'யில் அணுக்கருத் துகள்களையும் காமாக் கூறுகளையும் பதிவு செய்ய சிறப்புப் படிகங்களைப் பயன்படுத்துகிறார்கள், கதிர்வீச்சின் ஒரு பகுதியோ அல்லது ஒரு துகளோ அந்தப் படிகத்தில்படும்பொழுது ஒரு மின்னல் அல்லது பொறி வெளிப்பட்டு அது நுட்பமான கருவிகளால் பதிவு செய்யப்படுகிறது.

இத் தொடர்பு குறிப்பிடத்தக்க சிறப்பு வாய்ந்தது. ஏனெனில், இத் தொடர்பு, டி பிராலி அலைகள், கூறுகளைப்போன்றது என்பதை விளக்குகிறது. இதுபற்றி நாம் பிறகு காண்போம். இதற்கிடையில் நாம் டி பிராலியின் கருத்துப்படி நம்மைச் சுற்றியுள்ள பொருள்களின் இயக்கத்திற்கான அலைநீளங்களைக் கணக்கிடுவோம். பிளாங்க் மாறிலி $h = 6 \cdot 6 \times 10^{-27}$ எர்க்/விஞடி என்ற மிகச் சிறிய மதிப்பைப் பெறுவதாக அமைவதால் இந்த அலைநீளங்கள் மிகச் சிறியவையாக இருக்கும் என்பது தெளிவாகப் புலனாகிறது.

நாம் பூமியின் இயக்கத்தைக் கருதுவோம். அதன் நிறை $m = 6 \times 10^{27}$ கிராம். சூரியனைச் சுற்றிவரும் பூமியின் இயக்கத்தின் தோராயமான திசைவேகம் $= 3 \times 10^{6}$ செ.மீ./விஞடி டி பிராலியின் தொடர்பில் இம் மதிப்புகளைப் பொருத்தினால் பூமியின் அலைநீளம்

$$\lambda = \frac{6 \cdot 6 \times 10^{-27}}{6 \times 10^{27} \times 3 \times 10^{6}} = 3 \cdot 6 \times 10^{-61} \text{ செ.மீ.}$$

இது வியக்கத்தக்க வகையில் மிகவும் சிறியதாக உள்ளது. நிலவும் கருவிகளோ அல்லது எதிர் நோக்கும் கருவிகளோ இத்தகைய மிகச் சிறிய அளவீடுகளைப் பதிவுசெய்ய இயலாது. இம் மதிப்பு எவ்வளவு சிறியது என்பதை விளக்க எதனோடும் இம் மதிப்பை ஒப்பிட்டுக்கூற இயலாது.

ஒரு கல்லின் அலைநீளம் என்ன இருக்கும் என்பதைக் காண்போம். விநாடிக்கு 100 செ.மீ. என்ற வேகத்தில் இயங்கும் 100 கிராம் நிறையுள்ள கல்லைக் கருதுவோம். டி பிராலியின் தொடர்புப்படி

$$\lambda = \frac{6 \cdot 6 \times 10^{-27}}{100 \times 100} = 6 \cdot 6 \times 10^{-31} \text{ செ.மீ.}$$

இதுவே கருதிய கல்லின் அலை நீளமாகும். இது பூமிக்கான டி பிராலி அலைநீளத்தைவிட அதிகமாக இருக்கிறது. இருப்பினும், இதைக் கண்டறியும் நம்பிக்கைச் சிறிதும் நமக்கில்லை. இது அணுக்கருவைக் காட்டிலும் பல்லாயிரங் கோடி மடங்கு சிறியது. நம்மால் அணுக்கருவையே எந்த நுண்ணோக்கியாலும் காண இயலவில்லை.

இப்பொழுது நாம் எலெக்ட்ரானைக் கருதுவோம். அதன் நிறை ஏறக்குறைய 10^{-27} கிராம். 1 வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாடுள்ள மின்புலத்தில் இயங்கினால் அது 6×10^{7} செ.மீ./விஞடி

என்ற வேகத்தில் இயங்கும். இம் மதிப்புகளை டி பிராலி தொடர்பில் பொருத்தினால் எலெக்ட்ரானோடு இணைந்த அலைநீளம்

$$\lambda = \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-27}}{6 \times 10^{7} \times 10^{-27}} = 10^{-7} \text{ செ.மீ.}$$

இந்த அலைநீளம், முன்பு பெற்றவைகளிலிருந்து முற்றிலும் மாறுபட்டு விளங்குகிறது. 10^{-7} செ.மீ. என்ற இந்த அலைநீளம் ஏறத்தாழ X-கதிர்களுக்கான அலைநீளத்தைப்போல இருக்கிறது. X-கதிர்களை நாம் கருவிகளின் உதவியால் காணலாம். எனவே, கொள்கைப்படி நாம் எலெக்ட்ரானின் டி பிராலி அலையைக் கண்டு பிடிக்க இயலவேண்டும்.

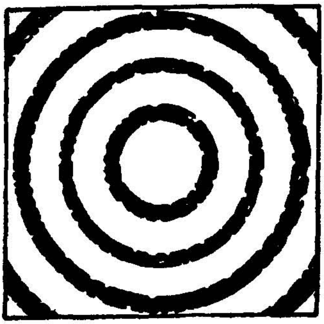
'அலை' காணப்பட்டது

ஆனால், எலெக்ட்ரானின் இந்த அலை எவ்வாறு காணப் பட்டது? கொள்கையளவில் டி பிராலி அலைகள் நிலவுகின்றன. ஆனால், கருவிகள்மூலம் அவற்றைக் கண்டறிய எவ் வழியும் இருப்பதாகத் தெரியவில்லை. ஆனால், அலை ஒன்று இருக்குமானால் அது எத்தன்மை பெற்றிருந்தாலும் அதனை வெளிப்படுத்தும் நிகழ்ச்சிகள் நிச்சயமாக இருந்துதானகவேண்டும். விளிம்பு விளைவு என்பது முழுக்க முழுக்க ஓர் அலைப் பண்பாகையால் அச் சோதனை வாயிலாக டி பிராலி அலையைக் காணும் முயற்சி மேற்கொள்ளப் பட்டது. விளிம்பு விளைவில் ஓர் அலையானது ஏதேனும் ஒரு தடை யைச் சந்திக்கும்பொழுது அது வளைந்து செல்லும். அவ்வாறு வளைந்து செல்வதால் அலை தனது நேர்கோட்டுத் திசையிலிருந்து சிறிது விலகித் தடையாக விளங்கிய பொருளின் நிழற்பகுதிக்கு வளைந்து செல்லும்.

ஒரு வட்டமான தடைப் பொருளிலிருந்து வெளியாகும் அலைகள் அல்லது அலைகள் ஊடுருவாத ஒரு திரையின் வட்டத்துளை வழியாக வெளியாகும் அலைகள் இவற்றின் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம், ஒளி வளையங்களும் கரு வளையங்களும் அடுத்தடுத்து அமையப் பெற்றிருக்கும். சான்றாக, தூசு படிந்த ஒரு கண்ணாடி வழியாக ஒரு தெரு விளக்கை நோக்கினால் இது போன்ற பாங்கத்தைக் காணலாம். பனி மூடிய இரவில் நிலாவைப் பார்த்தால் அதனைச் சுற்றிப் பல ஒளி வளையங்களும் இருள் வளையங்களும் மாறி மாறி அமைந்திருக்கும். அதாவது, நிலாவி லிருந்து வரும் ஒளி, காற்றில் உள்ள நுண்ணிய பனித்துகள்களில் விளிம்பு விளைவுற்று அவ்வாறு தோன்றுகிறது.

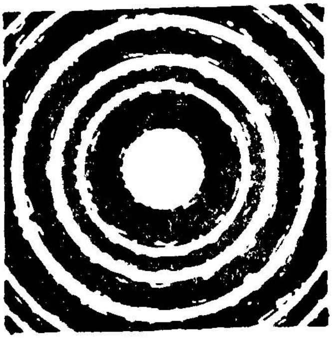
எனவே, விளிம்பு வளைவானது அலைகள் நிலவுவதைத் தெளி வாக உணர்த்தும் பண்பாகத் திகழ்கிறது. 19ஆம் நூற்றண்டின்

தொடக்கத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இந்த ஒளியின் விளிம்பு விளைவு, ஒளியின் அலைக் கொள்கைக்கு மிகவும் சாதகமான சாட்சியாக விளங்கியது.



படம் 1. X-கதிர்ப்பாங்கம்

ஆனால், ஒளியின் அலைநீளங்கள் எலெக்ட்ரானின் டி பிராலி அலைநீளத்தைப்போல் ஆயிரக்கணக்கணக்கான மடங்கு அதிகமானவையாகும். எனவே, ஒளியின் விளிம்பு விளைவைப்பற்றி அறிவதற்காக உருவாக்கப்பட்ட பிளவுத் திரை, கீற்றணி



படம் 2. எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம்

போன்றவை மிகவும் பொருத்தமற்ற பொருள்களாக விளங்கின மேலும், ஓர் அலையின் விளிம்பு விளைவைக் காண பயன்படுத்தப்படும் பொருளின் அளவு (பரிமாணம்); அலை நீளத்தை ஒத்ததாகவோ அல்லது அதைவிடக் குறைந்ததாகவோ இருக்க வேண்டும். ஒளி அலைகளுக்கான பொருள்களைப் பயன்படுத்தி டி பிராலி அலைச்சோதனையை நிச்சயமாகச் செய்ய இயலாது.

1924-ல் எலெக்ட்ரானின் டி பிராலி அலைகளின் விளிம்பு விளைவைக் கண்டறிய எந்தப் பொருள்களைப் பயன்படுத்த வேண்டும் என்பது அறியப்பட்டிருந்தது. பன்னிரண்டு ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் ஜெர்மன் நாட்டு மேதை 'லாவே' படிகங்களில் X-கதிர்களின் விளிம்பு விளைவைக் கண்டறிந்தார். ஒரு படிகத்தின் வழியாக ஊடுருவி வெளிவந்த X-கதிர்களை ஒரு புகைப்படத் தட்டில் விழச்செய்தால் அதில் கருநிற மற்றும் ஒளிப் புள்ளிகள் வரிசையாக அமையப் பெற்றிருப்பதைக் கண்டார். பல ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் டிபை மற்றும் ஷெரர், சிறு படிகங்களின் மாதிரிப் பொடிகளின் 'லாவே' சோதனையைத் திரும்பச்செய்து விளிம்பு விளைவு வளையங்களைப் பெற்றனர். படிகங்களில் அணுக்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு (X-கதிர்கள் ஊடுருவாத திரையில் உள்ள துளைகளைப்போன்ற) X-கதிர்களின் அலைநீளமான 10^{-8} செ.மீ.-ஐப்போலவே இருப்பதால் இச் சோதனைகளில் விளிம்பு விளைவு ஏற்படுகிறது.

ஆனால், டி பிராலி அலைகளின் நீளங்கள் நுட்பமாக இம் மதிப்புகளையே பெற்றிருக்கின்றன. அதாவது, இந்த டி பிராலி அலைகள் உண்மையில் விளங்கினால் எலெக்ட்ரான்கள் படிகத்தின் வழியாகச் செல்லும்பொழுது, X-கதிர்களைப்போலவே ஒரு புகைப்படத் தட்டில் அதே விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தைத் தோற்றுவிக்கும். டி பிராலி தனது புதிய கருத்தை வெளிட்ட சில ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் அமெரிக்க மேதைகளான டேவிஸன் மற்றும் ஜெர்மர் என்பவர்களும் சோவியத் மேதையான P. டார்டகோஸ்கி என்பவரும் இந்த உண்மையை, படிகத்தினால் எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவுக்கான சோதனைமூலம் சரிபார்த்தனர்.

இருப்பினும் 'எலெக்ட்ரான் கதிர்கள்' மற்றும் 'X-கதிர்கள்' ஆகியவற்றிற்கு இடையேயுள்ள ஒப்புமை போதுமானதல்ல. சோதனையை மிகவும் மதி நுட்பத்துடன்தான் செய்ய இயலும்.

X-கதிர்கள், படிகங்களின் வழியாக ஏறத்தாழ முழுவதும் ஊடுருவிச் செல்கிறது. ஆனால், எலெக்ட்ரான்கள், மில்லி மீட்டரில் ஒரு பகுதி தடிப்புள்ள படிகத்தின் பரப்புகளால் முழுமையாக உட்கவரப்படுகின்றன. எனவே, எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டு சோதனை செய்ய மிகவும் மெல்லிய தடிப்புள்ள படிகங்கள் அல்லது உலோகத் தகடுகள் தேவைப்பட்டன. அதாவது, மிக மெல்லிய தடைகளோடு சோதனைசெய்யவேண்டும். துளைகளோடு அல்ல. இச் சோதனையில் படிகங்களின் பரப்பிற்கு ஓரளவு சாய்ந்தநிலையில் படுமாறு எலெக்ட்ரான் கற்றை செலுத்தப்படுகிறது. இந் நிலையில் எலெக்ட்ரான் கற்றை

படிகத்தின் பரப்போடு பெரும்பாலும் இழைந்து செல்லும். படிகத்தை ஆழமாக ஊடுருவிச் செல்லாது. எனவே, எலெக்ட்ரான் கற்றை பிரதிபலிக்கப்படும். இதன் பயனாக எலெக்ட்ரான்கள் படிகத்தின் புறத்தேயுள்ள ஏடுகளில்மட்டுமே விளிம்பு விளைவுறு கின்றன. இவ்வாறு விளிம்பு விளைவுறும் எலெக்ட்ரான்கள் புகைப்படத்தட்டில் பதிவு செய்யப்படுகின்றன.[1]

டார்டகோஸ்கி தன் சோதனையில் பல்லாயிரக்கணக்கான மிகச் சிறிய படிகங்களைப் பெற்ற மிக மெல்லியத் தகட்டை நோக்கி எலெக்ட்ரான் கற்றையைச் செலுத்தினர். புகைப்படத் தகடு பல நிமிடங்களுக்குத் திறக்கப்பட்டிருந்தது. அதனை உருவம் துலக்கிய பின் புகைப்படம் உண்மையான விளிம்பு விளைவு வளையங்களின் சுவடுகளை வெளிப்படுத்தியது. தன் நிறையுள்ள தங்கத்தைவிட அதிக மதிப்புடைய இந்த முதன்மைத் தகடுகள் உலகின் பெரிய இயற்பியல் சோதனைச்சாலைகளுக்கு அனுப்பப்பட்டன. அங்கு அவை மிகவும் எச்சரிக்கையாக ஆராய்ந்தறியப்பட்டன. அவற்றைப்பற்றி எந்த ஐயமுமில்லை. பொருள்களைப்பற்றி டி பிராலி துணிவோடு வெளியிட்ட கருத்து நுட்பமான சோதனை முடிவாலும் நிலைநாட்டப்பட்டது. எனவே, எலெக்ட்ரான்கள் துகள்களின் பண்பையும் அலைகளின் பண்பையும் வெளிப்படுத்து கின்றன.

இரு முகப்பு உடைய துகள்கள்

இந்த உண்மைகளை நிலைநாட்டும் சோதனைகளைச் செய்வதற்கு முன்பே அறிவியல் மேதைகள் டி பிராலி அலைகளின் தன்மைபற்றி அறிய முயன்று வந்தனர். எலெக்ட்ரான்களைப்போன்ற துகள் களின் இருவகைப் பண்புகளை ஒருவர் எவ்வாறு அறிய இயலும்?

அந்தக் காலத்தில் இயற்பியல் மேதைகள் எலெக்ட்ரான் என்றால் என்ன என்பது பற்றி அறிந்திருந்தனர். அது ஒரு மிகவும் சிறிய மிகக் குறைந்த எடையுள்ள எதிர் மின்னூட்டம்பெற்ற துகள் என அறிந்திருந்தனர். பல காலமாக அந்தத் துகள் எவ் வடிவமுடையது. அதன் உட்பகுதியில் என்ன உள்ளது என்பது போன்ற கேள்விகளை ஒருவரும் கேட்கவில்லை. உண்மையில் எலெக்ட்ரானைக் கண்டறிய ஒரு வழியுமில்லை. அதன் உட்பகுதி பற்றிக் கூற முயலவும் முடியாது.

ஆனால், எலெக்ட்ரான் ஒரு துகள் என்றால், அது வெளிப்படை யாக அதன் பொருளின் பண்பைப் பெற்றிருக்கவேண்டும்.

[1] X-கதிர்கள் அல்லது கட்புலனாகும் ஒளி புகைப்படத் தட்டில் ஏற்படுத்து வதைப் போலவே எலெக்ட்ரான்களும் புகைப்படத் தட்டை மங்கச் செய்கின்றன.

எலெக்ட்ரான் எவ்வாறு, முற்றிலும் மாறுபட்ட கருத்தான அலைகளின் பண்பைப் பெற்றிருக்க இயலும்?

பொருளலைகளுக்கான விளக்கம் தரும் முயற்சியில் டி பிராலி முற்பட்டார். இயற்பியல் மேதைகள், முதன்முதலாக நுண் பொருள்களடங்கிய உலகில் புகுந்த பிறகும் வழக்கம் காரணமாக பட மாதிரியில் செயற்படலாயினர். போர், ருதர்ஃபோர்டு கொள்கையில் அணு ஒரு கோள்களின் தொகுப்பு எனவும் அதில் கோள்களான எலெக்ட்ரான்கள் சூரியனை அணுக்கருவைச் சுற்றி வருகின்றன எனவும் கருதுகிறோம். ஒரே ஒரு மாற்றம் என்ன வெனில், கோள்களைப் போலல்லாமல் எலெக்ட்ரான்கள் அடிக்கடி அவற்றின் சுற்றுகளை மாற்ற இயலும்.

ஆனால், அப்பொழுதுதான் ஃபோட்டான் எனப்படும் ஒளித் துகள் தோன்றியது. ஐன்ஸ்டீன் கூறியதுபோல அதுவும் அலைப் பண்புகளையும் துகள் பண்புகளையும் ஒருங்கே பெற்றிருந்தது. எனவே, இந்த இருவகைப் பண்புகள்-உருவகமாதிரிக்கு அப்பாற் பட்டவை என்பது வெளிப்படையாக விளங்குகின்றன.

இவ்வாறு இயற்பியல் துறைக்குப் பிரதிநிதித்துவம் அற்ற தொருநிலை எதிர்பட்டது. இப்பொழுது டி பிராலியின் கண்டுபிடிப் புடன் கூடிய இந்த கற்பனைக்கெட்டாத பண்பை மிகச்சிறிய எலெக்ட்ரான்களிலிருந்து மிகப்பெரிய விண்கோள்கள்வரையான பொருள்களின் துகள்களுக்கு விரிவுபடுத்த வேண்டியதாயிற்று. உண்மையில் இந் நிலை சற்று குழப்பமேற்படுத்துவதாக இருந்தது.

இயங்கும் எலெக்ட்ரான் ஒன்று, எதிர்ப்படும் தடையில்மோதி, விளிம்பு விளைவின்பயனாக அதனைச் சுற்றித்திரும்பும் என்று ஒருவர் கற்பனைகூட செய்துபார்க்க இயலாது. இல்லை, அலைகளும் துகள் களும் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று முற்றிலும் வேறுபட்ட பகுதிகள். ஒரு பொருள், அலையாக இருக்கலாம் அல்லது துகளாக இருக்கலாம்!

இருப்பினும் டி பிராலி அலைகள் நிலவின. அதன் பண்புகள்—இது அல்லது அது என்பன போன்றவையன்று. இரண்டுமேயாகும். இணைக்கமுடியாதவற்றைச் சேர்க்க ஏதேனும் செய்தாகவேண்டி யிருந்தது. அதுவும் தனித்ததொரு விளிம்பு விளைவுற்ற எலெக்ட் ரானுக்கு மட்டுமல்ல. எலெக்ட்ரான்களுக்கு அலைப்பண்புகள் இருப்பதாகக் கொண்டால் நமது உலகில் சிறியன முதல் பெரியவை வரையான எல்லாப் பொருள்களுக்கும் அலைப்பண்புகள் தவிர்க்க முடியாதவையாகும்.

இந்த புதுமையான வழக்கத்திற்கு மாறுபட்ட ஆராய்ச்சியை டி பிராலி முன்னோடி அலைகளுடன் துவக்கினர்.

முன்னோடி அலைகள்

கடலலைமீது பயணம் செய்வதைத் திரும்பவும் கருதுவோம். பயணம்செய்பவர், அவரைக் கரைசேர்க்கும் ஓர் உயரமான அலையின் முகப்பில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த அலை முன்னோடியாகச் செயற்படுகிறது.

டி பிராலியின் கருத்துப்படி பொருள் அலைகளும் இதேபோல் இயங்கும் பொருள்களின் துகள்களுக்கு முன்னோடியாக விளங்கு கின்றன. அதாவது, ஒரு துகள் அலையின்மீது அமர்ந்திருப்பது போலவும் அந்த அலை நகரும் பொழுதெல்லாம் இத் துகள் நகரு வதாகவும் கருதினார்.

இந்த அலையின்நீளம் மிகவும் அதிகமாக இருக்கலாம் என்று கூறினார். ஓர் எலெக்ட்ரான் குறைந்த வேகங்களைப் பெற்றிருக்கும் பொழுது இந்த எலெக்ட்ரான் அலையின் நீளம் எலெக்ட்ரானைப் போலப் பல்லாயிரக்கணக்கான மடங்கு பெரியது. திசைவேகம் அதிகரிக்கும்பொழுது, துகள் அலையை உள்ளிழுப்பதுபோல இருப்பதால் அலைநீளம் குறைகிறது. ஆனால், எலெக்ட்ரான் அதிக மானத் திசைவேகங்களோடு இயங்கினாலும் அதன் அலைநீளம் எலெக்ட்ரானின் பரிமாணங்களைக் காட்டிலும் மிகவும் அதிகமாக இருக்கிறது.

இதில் எலெக்ட்ரான், அலைக்கு முன்னோடியாக இருக்கிறதா அல்லது அலை, எலெக்ட்ரானுக்கு முன்னோடியாக இருக்கிறதா என்பதுபற்றிக் கவலையில்லை. இதில் முக்கியமாக விளங்குவது எலெக்ட்ரான் அலையோடு எப்பொழுதும் நெருக்கமாகப் பிணைக்கப் பட்டிருக்கிறது என்பதேயாகும். எலெக்ட்ரான் இயக்கத்தை நிறுத்தினால்தான் எலெக்ட்ரான் அலை மறைகிறது. இந் நிலையில் டி பிராலித் தொடர்பின் பகுதிச் சுழியாக இருக்கிறது. அதாவது, அலைநீளம் முடிவிலியாக இருக்கும். அதாவது அலையின் முகடும் அகடும், எலெக்ட்ரான் அலை தனது அலைப்பண்பை இழக்கும் அளவுக்குப் பிரிக்கப்பட்ட நிலையில் இயங்கும்.

டி பிராலியின் கருத்து மிகுந்த ஆர்வமளிப்பதாக உள்ளது. எலெக்ட்ரான் தனது அலைமீது சவாரி செய்வதாகக் கூறினார். ஆனால், இந்த அலை எங்கிருந்து தோன்றுகிறது? துகள் வெற்றி டத்தில் இயங்குவதாக இருந்தாலும், இந்த அலையானது துகளோடு இணைந்து விளங்கும். அதாவது, இந்த அலை, துகளால்தான் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது என்று பொருள்படுகிறது. இது எவ்வாறு நடைபெறுகிறது?

துகள், அலையைத் தோற்றுவிப்பதுபற்றி டி பிராலியின் புனைவு கோள் ஏதும் கூறவில்லை. ஒரு துகளுக்கும் அதன் அலைக்கும் இடையே உள்ள வினை (interaction) எத் தன்மையது, அலை எவ்வாறு துகளோடு செல்லுகிறது, துகளானது மற்றத் துகளோடு அல்லது புலங்களோடு வினைபுரியும்பொழுது சான்றாக, துகள்கள் ஒரு தடை மீது அல்லது புகைப்படத்தட்டில் விழும்பொழுது எவ்வாறு துகளின் தன்மையைப் பகிர்ந்துகொள்கிறது. இந்த வினாக்களுக்கு டி பிராலியின் புனைவுகோள் எவ்வித விளக்கமும் கொடுக்கவில்லை.

இந்த இடர்பாட்டிலிருந்து விடுபட, டி பிராலி துகளை முழுமையாகப் புறக்கணிக்க முயற்சித்தார். அலையையே, துகளாக நாம் ஏன் கருதக்கூடாது? அதாவது, இயற்பியல் மேதைகளால் கூறப்பட்டதுபோல ஒரு துகளானது, அதன் அலைகள் இறுக்கமாகத் தொகுக்கப்பட்ட ஓர் அலைத்தொகுப்பு எனக் கருதலாம். ஓர் அலைத் தொகுப்பில் சில சிறிய அலைகள் அடங்கியிருக்கும். எனவே, இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட அலைத் தொகுப்புகள் ஒன்றோடொன்று மோதும்பொழுது அவை துகள்களைப்போலவே காட்சியளிக்கும். ஒரு குறுகிய அலை, ஃபோட்டான் உலோகத்திலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரானை வெளிப்படுத்தும்பொழுது அலைத்தொகுப்புத் துகள்போலவே காட்சியளிக்கிறது.

ஆனால், அத் தொகுப்பு எவ்வளவு சிறியது எத்துணை அளவுக்குத் துகளை ஒத்திருக்கிறது என்பதுபற்றிக் கவலையில்லை. அதில் அலைகள் அடங்கியிருக்கின்றன. இதிலிருந்து அலைத் தொகுப்பானது அதில் நிலவும் அலைத்தன்மையை வெளிப்படுத்தும் நிகழ்ச்சிகள் நிச்சயமாக இருக்கும் என்பது தெளிவாகின்றது. ஆனால், இதனையும் இயற்கைப் புறக்கணித்துவிட்டது. அலைத் தொகுப்புகள் எவ்வளவு சிறியவையாக இருப்பினும் அவை ஒரு துகளைத் தோற்றுவிக்க முடியாது என்று தெரியவந்தது. இது அடிப்படையிலேயே இயலாததாகும். உண்மையில் இத் தொகுப்புகள் முழுமையான வெற்றிடத்திலிருந்தாலும் காலத்தோடு வேகமாக சிதைவுறுகின்றன. புறக்கணிக்கும் அளவுக்கு மிகக் குறைந்தகால இடைவெளியில் இந்தக் குறுகிய அலைத் தொகுப்பு, ஹோமியோபதி அளவீடுகளைப்போல நீட்சிபெற்றுதெளிவற்றத்தன்மையடைகிறது. ஆனால், துகள்கள் நிலைத்தன்மையுடையவை எனவும் அவை காலத்தோடு விரிந்து பரவும் பண்பைச் சிறிதும் பெற்றவையல்ல எனவும் நமக்குத் தெரியும். இந்தமாதிரியும், கைவிடப்பட வேண்டியதாயிற்று. தனித்து நிலவும் இரு மாறுபட்டக் கருத்துகளாகிய அலைகளையும் துகள்களையும் இணைத்து ஒன்றெனக்கூறும் முயற்சி வெற்றிபெறவில்லை. அது வெற்றியடைய முடியாது. ஆனால், அவ் வெற்றி பல ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் கிட்டியது.

இருப்பினும் கிரேக்க புராணத்தில் குதிரை உடலோடு கூடிய மனிதனைப்போன்ற, துகளைத் தலையாகவும் அலையை உடலாகவும் கொண்ட தனது கொள்கையை டி பிராலி கைவிட மறுத்தார்.

இரண்டாண்டுகள் சென்றன. 1927ஆம் ஆண்டின் கோடை காலத்தில், உலகின் பல்வேறு பகுதிகளிலிருந்தும் இயற்பியல் மேதைகள் பிரஸ்ஸலில்கூடிய ஸால்வே காங்கிரஸில் கூடினர். அந்தக் கூட்டத்தில் டி பிராலி அளித்த, அலைகளுக்கும் துகள் களுக்குமிடையேயுள்ள தொடர்பு பெரும் எதிர்ப்போடு புறக் கணிக்கப்பட்டது. வரவிருந்த பல ஆண்டுகளுக்கு, இந்தத் தொடர்பின் முற்றிலும் மாறுபட்டதொரு கருத்து நிலவியது. அக் கருத்து ஜெர்மன் நாட்டைச் சேர்ந்த வர்னன் ஐசன்பர்க் மற்றும் எர்வின் ஸ்ரோடிஞ்சர் என்ற இரு மேதைகளால் அந்தக் கூட்டத்தில் வெளியிடப்பட்டது.

இணைந்தா ? அல்லது தனித்தா ?

டி பிராலியின் கருத்துகளை ஐசன்பர்க் மற்றும் ஸ்ரோடிஞ்சர் ஆகிய இருவரும் குழிதோண்டிப் புதைத்தனர். ஆனால், அவ்வாறு செய்யும்பொழுது இந்தக் கருத்துகள்தான் குவான்டம் கொள்கை யின் தொடர்ந்த வளர்ச்சிக்குக் காரணமாக அமைந்தது எனக் கூறினர். இயங்கும் பொருளோடு இணைந்த அலைகள்பற்றிய டி பிராலியின் அடிப்படைக் கருத்துகளைப் பல நாட்டிலுள்ள மேதைகளும் ஆராயத் தொடங்கினர். டி பிராலியின் முதல் வெளியீட்டிற்குப் பிறகு ஓராண்டு முடிவதற்குள்ளாகவே ஜெர்மன் நாட்டைச் சேர்ந்த மாக்ஸ் பான் என்ற இயற்பியல் மேதை டி பிராலி அலைகள்பற்றிய தனது கருத்தை வெளியிட்டார்.

மாக்ஸ் பானின் மாணவரான ஐசன்பர்க் அப்பொழுதுதான் அறிவியலில் தனது வாழ்க்கையைத் தொடங்கியிருந்தார். அவர் இந்த அலைகள் விஷயத்தில் ஆர்வம் கொண்டார். ஸ்ரோடிஞ்சரைக் கொண்ட மற்றொரு குழு டி பிராலியின் ஆராய்ச்சியை ஆர்வத்தோடு விவாதித்து வந்தனர். அதற்குப் பிறகு நாம் காலக் கிரமமான வளர்ச்சியைக் குறிப்பிடப் போவதில்லை. ஒரு திரைப் படக் கதையின் முடிவை முன்பே கூறுவது கதையில் என்ன நடை பெறுகிறது என்பதை நன்கறியவும் நாடகப் பாணியை வளர்க் கவும் வகை செய்கிறது.

எலெக்ட்ரான்களின் விளிம்பு விளைவை நிலைநாட்டிய சோதனையைத் திரும்பவும் நினைவிற் கொள்வோம். அச் சோதனை யில் ஓர் எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒரு படிகத்தில் (அல்லது மிக மெல்லிய உலோகத் தகட்டில்) மோதியது. கற்றையில் உள்ள

எலெக்ட்ரான்கள் படிகத்தின் அணுக்களில் விளிம்பு விளைவுற்றன. பின்னர் அவை புகைப்படத் தட்டில் வினைபுரிந்து விளிம்பு விளைவு வளையங்களைத் தோற்றுவித்தன. இப்பொழுது நாம், சிறப்பாக உருவாக்கப்பட்ட எரியும் உலோக இழையிலிருந்து வெளிப்படும் எலெக்ட்ரான் கற்றையைக் கருதலாம். எலெக்ட்ரான் வெளி விடும் இந்தக் கம்பிக்கும் படிகத்திற்குமிடையே ஒரு வட்டத்துளை யுடன் கூடிய திரையை வைக்கலாம். அதன் பயனாக இந்தத் திரையைக் கடந்துவரும் எலெக்ட்ரான் கற்றை தெளிவான குறுக்குப் பரப்பைப் பெற்றிருக்கும்.

தொடக்கத்திலேயே, அதாவது சில பத்து எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமே இருக்கும்பொழுது நாம் சோதனையை நிறுத்தியிருந்தால் என்ன நடந்திருக்கும்? புகைப்படத் தட்டை உருத்துலக்கினால், துப்பாக்கி சுடும் பயிற்சியற்ற ஒருவன் சுட்டால் குறி இலக்கில் ஏற்படும் புள்ளிகளைப்போலப் புகைப்படத் தட்டு தோற்றமளிக் கிறது. புகைப்படத் தட்டில், தன்னிச்சைப்படி ஒழுங்கின்றி உள்ள கரும்புள்ளிகள் தனித்தனி எலெக்ட்ரான்களால் தோற்று விக்கப்பட்டவையாகும். சோதனையைத் தொடர்ந்து நடத்தினால், எலெக்ட்ரான்கள் புகைப்படத் தட்டைத் தாக்கும். புள்ளிகளின் அமைப்பில் சிறிது சிறிதாக ஒழுங்கு ஏற்படுவதைக் காணலாம். பல ஆயிரக்கணக்கான மோதல்களுக்குப் பின்னர் புகைப்படத் தகடு அறிவியல் மேதைகள் கண்டறிந்ததைப்போலவே தெளிவான ஒளி மற்றும் கருவளையங்களைப் பெற்றிருக்கும்.

இது ஓர் ஆர்வத்தைத் தூண்டும் உண்மையாகும். விளிம்பு விளைவுறும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக் குறைவாக இருக்கும்வரை அலைப் பண்புகளை அறிய இயலாது என்பது தெளிவாகப் புலனாகிறது. எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மிகவும் அதிகமாகும்பொழுது மட்டுமே இந்தப் பண்புகள் தெரிய வருகின்றன. அதாவது, பெருந்தொகுப்புகள் மட்டுமே துகள் களின் அலைப்பண்புகளைப் பெற்றிருக்கும் எனத் தோன்றுகிறது.

இதற்கு விடைகாண, நாம் மீண்டும் அதே எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவுச் சோதனையைச் சற்று மாற்றிச்செய்யலாம். மிகவும் சக்திவாய்ந்த எலெக்ட்ரான்மூலம் ஒன்றைக்கொண்டு எலெக்ட்ரான்கள் மிகக் குறைந்த காலத்திற்குப் புகைப்படத் தட்டில் விழுமாறு சோதனை செய்யலாம். அப்பொழுது விளிம்பு விளைவுப்பாங்கம் எளிதில் கிடைக்கும். அல்லது ஒரு சக்தியற்ற எலெக்ட்ரான் மூலத்தைக்கொண்டு செய்யும் சோதனையில் புகைப் படத் தட்டில் எலெக்ட்ரான்கள் விழும் நேரத்தை அதிகரிக்கலாம். ஆனால், இவ் விரு முறைகளிலும் தகட்டில் படும் எலெக்ட்ரான்

களின் எண்ணிக்கை மாறுமலிருந்தால் முற்றிலும் ஒத்த விளிம்பு விளைவுப்பாங்கங்கள் கிடைக்கும்.

இது மிகவும் முக்கியம் வாய்ந்ததாகும். முதல் வகையில், எலெக்ட்ரான்கள் படிகத்தில் திடீரென விளிம்பு விளைவுற்றால் அது ஒரு பெருந்தொகுப்பு நிகழ்ச்சியாகக் கூறலாம். ஆனால், இரண்டாம் வகையில் எலெக்ட்ரான்கள் தனித்தனியே படிகத்தில் மோதும்பொழுது அதனைத் தொகுப்பு நிகழ்ச்சியாகக்கூற இயலாது. ஓர் இரயில் தொழிற்குழுவில் ஒருவர் ஒரு நாள் உருக்குவேலை செய்ய மற்றொருவர் மறு நாள் மரையாணி பொருத்தி மூன்றுமவர் அதனை ஒரு மாதத்திற்குப்பிறகு முடுக்கினல் அக் குழுவின் தன்மையை என்னவென்று சொல்வது?

எலெக்ட்ரான்கள், ஆயிரக் கணக்கில் ஒரே கணத்தில் விளிம்பு விளைவுற்றாலும் தனித்தனியாக விளிம்பு விளைவடைந்தாலும் ஏற்படும் பாங்கம் ஒன்றேயாகும். முடிவு வெளிப்படையாக விளங்குகிறது. ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரானும் அதனருகில் மற்ற எலெக்ட்ரான்களே இல்லாதிருப்பதுபோல், அதன் வழக்கத்திற்கு மாறான பண்புகளை வெளிப்படுத்துகிறது.

சுடும் பயிற்சிக் கூடத்திற்கு ஒப்பிடுதல்

நாம் உபயோகித்த புகைப்படத் தட்டைக் கருதுவோம். அது குறைந்த எண்ணிக்கையுள்ள எலெக்ட்ரான்களால் தோற்றுவிக்கப்பட்டதாகும். முதன் முதலாக அதைப் பார்த்தால், எலெக்ட்ரான்கள் புகைப்படத் தட்டில் முழுவதும் ஒழுங்கற்ற முறையில் தன்னிச்சைப்படி மோதியவைபோல் தோற்றமளிக்கும். ஆனால், அதில் ஒரு கருத்து நமது கவனத்தைக் கவர்கின்றது. நாம் எலெக்ட்ரான்கள் ஊடுருவிச் சென்ற திரையில் உள்ள துளையின் பரிமாணத்தை அளந்து அதனைப் புகைப்படத் தட்டில் கருதுவோம். புகைப்படத் தட்டில் எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் எவ்வளவு ஒழுங்கற்ற தன்மையுடையதாயினும் அதே பரிமாணத்திற்குள் பொருந்தியிருக்கவேண்டும். இருப்பினும், உண்மையில் பல எலெக்ட்ரான்கள் புகைப்படத் தட்டில் அந்த வரம்பிற்கு வெளியே விழுந்திருக்கின்றன.

இந்தப் புகைப்படத் தட்டைக் கவனமாக ஆராய்ந்தால் நமக்கு மற்றோர் உண்மையும் தெரியவருகிறது. அதாவது, எலெக்ட்ரான்கள் புகைப்படத் தட்டைத் தாக்கியிருப்பது எவ் விதத்திலும் ஒழுங்கற்றதாக இருக்காது. மிகக்குறைந்த எலெக்ட்ரான்களே தாக்கியிருந்தாலும் அதிலும்கூட சில இடங்களில் எலெக்ட்ரான்கள் தாக்கவே இல்லை. வேறு சில இடங்களில் எலெக்ட்ரான்கள்

கும்பலாகத் தாக்கியிருக்கின்றன. இத்தகைய இடங்களின் வழியாக ஒரு கோடு வரைந்தால் சிறு வளையங்கள் தோன்றுகின்றன. உண்மைதான் இந்த வளையங்கள் தெளிவாகத் தெரிவதில்லை. எலெக்ட்ரான் தாக்குதல் அதிகரித்தால் இந்த வளையங்களின் தோற்றம் தெளிவுறுகிறது.

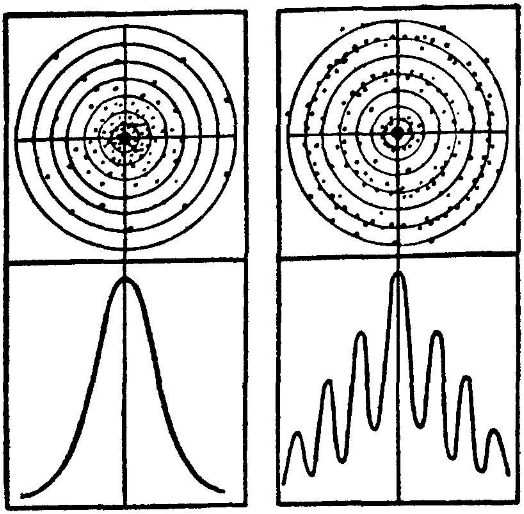
இதுபற்றி நாம் மேலும் அறிந்துகொள்ளப் பின்வருமாறு செய்யலாம். எலெக்ட்ரான்கள் புகைப்படத் தட்டைத் தாக்கியது போலவே சாதாரணத் துப்பாக்கிக் குறி இலக்கு ஒன்றில் நாம் துளைகள் செய்து அதை ஒரு துப்பாக்கி சுடும் வல்லுநரிடம் காட்டி அவரது கருத்தை அறியலாம். அவரது கருத்துப் பின்வருமாறு அமையும்.

'இதென்ன வேடிக்கையாகச் சுட்டிருக்கிறீர்கள் 10ஆம் எண்ணில் எல்லா குண்டுகளும் பாய்ந்திருப்பதைப் பாருங்கள். ஆனால், 9-அல்லது 8ஆம் எண்களில் ஒரு குண்டுகூடச் செல்லவில்லை. இதன் நோக்கமென்ன? எல்லாக் குண்டுகளும் 10, 7, 4; மற்றும் 1 ஆகிய எண்களில் மட்டுமே பாய்ந்திருக்கின்றன!'

இதற்கு நாம் மறுமொழியொன்றும் கூறாமலிருந்தால் உடனேயே அந்த சுடும் நிலையத்தலைவர் 'இதென்ன அர்த்தமின்றி இருக்கிறது' என்பார். ஒருவர் எவ்வளவுதான் முயன்றாலும் அதைப்போலவே ஒரு குறி இலக்கில் துளையிட முடியாது. ஏனென்றால், சுடுபவர் பழகத் தொடங்கிய நிலையில் பயிற்சியற்றவராக இருந்தால் அவர் சுடும் குறி இலக்கில் துளைகள் ஏறத்தாழ அந்த இலக்கு முழுவதிலும் பரவலாக அமைந்திருக்கும். நன்கு பயிற்சி பெற்றவர் சுடும் குறி இலக்கு முற்றிலும் மாறுபட்டதாக இருக்கும். அந்த இலக்கின் மையத்தில் எல்லாக் குண்டுகளும் நெருக்கமாகத் துளைத்திருக்கும். வெளி வளையங்களில் ஒன்றிரண்டு குண்டுகளே பாய்ந்திருக்கும். ஒவ்வொரு வளையத்திலும் சென்ற குண்டுகளின் எண்ணிக்கையைக் கண்டறிந்து ஒரு வரைபடம் வரையலாம்.

வரைபடத்தில் ஓர் அச்சில் வளையங்களின் எண்ணிக்கையையும் (அதாவது இலக்கின் மையத்திலிருந்து வளையங்களின் தொலைவையும்) மற்ற அச்சில் இரு வளையங்களுக்கிடையில் உள்ள துளைகளின் எண்ணிக்கையும் வைத்து வரைபடம் வரையலாம். கிடைக்கும் படம் ஒரு சீரான கோடாகவும் குறி இலக்கின் மையத்தைவிட்டு விலகிச் செல்லச் செல்ல கீழிறங்கியும் அமைகிறது.

இப்பொழுது நாம், நமது எலெக்ட்ரான்கள் தாக்கிய புகைப் படத்தட்டைக் கருதுவோம். இதற்கான வரைபடம் மையத்தி லிருந்து பக்கவாட்டில் செல்லச்செல்ல மேலும், கீழும் ஏறி இறங்கு



படம் 3.

வதாக அமைகிறது. இது கீழ்நோக்கி இறங்கும் விதம் முன்பு கிடைத்த வரைபடத்திலிருந்து மாறுபடுகிறது.

நமது பயிற்சிபெற்ற சுடுபவர் விஷயத்தில் வாய்ப்பு விதிகள் உண்மையாகின்றன. நமக்குக் கிடைத்த வரைபடம் ஒழுங்கற்ற குறைகளுக்கான படம் அல்லது காஸ் வரைபடம் என்று வழங்கப் படுகிறது. நமது புகைப்படத்தட்டில் எலெக்ட்ரான் தாக்குதலிலும் ஓரளவு ஒழுங்கின்மை இருக்கிறது. ஆனால், அது சுடும் நிலையங் களுக்குப் புதிதான, முற்றிலும் மாறுபட்ட ஒரு விதிக்கு உட்பட்டி ருக்கிறது. இப்பொழுது நாம் நமது குறி இலக்கைக் கருதுவோம்.

'நிகழ்திறன் அலைகள்'

சுடுவதால் கிடைத்த துளைகளுக்கான வரைபடம் ஒரு பொழுதும் அலைகளைப்போல் அமையாது. எலெக்ட்ரான்கள் குண்டு களைப் போன்றவையல்ல. ஒரு குண்டின் நிறை மிகவும் அதிகமாக இருப்பதால் அதனால் அலைப்பண்புகளை வெளிப்படுத்த இயலாது. படிகத்திலிருந்து பிரதிபலிக்கப்பட்ட இந்த எலெக்ட்ரான்கள் புகைப்படத் தட்டைத்தாக்கி உருவாக்கிய எலெக்ட்ரான்களின் பரவீட்டு வரைபடத்தைத்தான் 'பான்' டி பிராலியின் அலை எனக் குறிப்பிட்டார்.

சற்று சிந்திப்போம் ! இந்தக் காகித அலைக்கும் உண்மையான அலைக்குமிடையேயுள்ள தொடர்பு என்ன ? உண்மையான அலை எலெக்ட்ராளுேடு நகர்கிறது. நாம் கருதும் அலை காகிதத்தில் நிலையாக இருக்கிறது. எனினும், அவை ஒன்றோடொன்று தொடர் புடையவை. புகைப்படத் தட்டைத் தாக்கிய எலெக்ட்ரான்களின் வரைபடம் ஒரு கற்பனை முடிவன்று. இயங்கும் எலெக்ட்ராளுேடு இணைந்த உண்மையான அலை நிலவுவதை அந்த வரைபடம் பிரதி பலிக்கிறது. ஆனுல், இந்த அலையின் தன்மை, டி பிராலி கூறிய அலையின் தன்மையிலிருந்து முற்றிலும் மாறுபட்டதாக இருக்கிறது.

நியூட்டன் காலத்திய முதுபழங் கொள்கைப்படி, திரையில் உள்ள துளைவழியாக வெளியேறும் எலெக்ட்ரான்கள் படிகத்தைத் தாக்கும்வரை நேர்கோட்டுப் பாதையில்தான் செல்லும் என்பது தெளிவாகக் கூறப்படும். படிகத்தில் உள்ள அணுவினுல் பிரதி பலிக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான், பில்லியர்டு பந்து மேஜையின் விளிம்பில் பட்டு விலகிச் செல்வதைப்போலவே, விலக்கமுற்றுச் செல்கிறது. இறுதியாகப் படிகத்திலிருந்துவரும் எலெக்ட்ரான் புகைப்படத்தட்டைத் தாக்கி அதன் சுவடு புகைப்படத் தட்டில் பதிவாகிறது.

இக் கருத்துப்படிக் கூறினுல், துப்பாக்கி சுடுபவர் நடுங்கும் கரத்தைக் கொண்டவரன்று. மேலும் அவர் கண்கள் பஞ்சடைந்த தன்று. மேலும் குறி வைப்பதைப் பாதிக்கும்வண்ணம் காற்று வீசவில்லை. அல்லது பூமியிலிருந்து, சுடும் காற்ருேடை ஏற்பட வில்லை. எல்லாமே சுடுவதற்குத் தகுந்ததாக அமைகின்றன. எனவே, குறி பார்த்தலில் பிழையேதும் நிகழாது. எனவே, எல்லா குண்டுகளும் குறி இலக்கின் மையத்தில் பாய்ந்து செல்லும். அதாவது, திரையில் உள்ள துளையின் அளவை, எலெக்ட்ரான்கள், அப்படியே புகைப்படத் தட்டில் பதியச் செய்ய வேண்டும். திரையில் உள்ள பிளவு ஒரு மிகச்சிறிய துளையாக இருந்தால் எலெக்ட்ரான்கள் புகைப்படத் தட்டில் ஒரு சிறு புள்ளியை மட்டுமே உருவாக்கவேண்டும்.

ஆனுல், எலெக்ட்ரான்கள் முதுபழங் கொள்கையைப் பின்பற்ற மறுக்கின்றன. புகைப்படத் தட்டில் ஒரு சிறு புள்ளிக்குப் பதிலாக ஒளி மற்றும் கருவளையங்களின் தொகுப்பைப் பெறுகிறேம். இது பிழையால் நிகழ்ந்ததன்று. அவ்வாறு பிழை காரணமாக ஏற்பட்ட தாகக் கருதினுலும் எலெக்ட்ரான்கள் காஸ் விதிப்படிப் பரவலாக இருக்கவேண்டும். உண்மையில் எலெக்ட்ரான்கள் முற்றிலும் மாறுபட்ட ஓர் அலை விதிப்படிதான் சிதறுகின்றன.

புகைப்படத்தட்டில் எலெக்ட்ரான்களின் பங்கீட்டிற்கான வரைபடம் அலையமைப்பைப் பெற்றிருக்கிறது. ஒளி, X-கதிர்கள் போன்ற நிச்சயமான அலைகளால் தோற்றுவிக்கப்படும் விளிம்பு விளைவுப்பாங்கத்தின் ஒளிச்செறிவும் இதே அலையமைப்பைப் பெற்றிருக்கிறது. எனவே, எலெக்ட்ரான்கள், டி பிராலி கருதியதைவிட அதிகத் தெளிவான அலைப்பண்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. எலெக்ட்ரான் அலை என்பது, எலெக்ட்ரான் என்ற பயணியைக்கொண்ட விமானமல்ல. எலெக்ட்ரான் அலையானது, ஓர் எலெக்ட்ரான் புகைப்படத்தட்டில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் தாக்குதலின் வாய்ப்பை நிர்ணயிக்கின்றது. எனவேதான், எலெக்ட்ரான் அலைக்குச் சிறந்த பெயர், 'நிகழ்திறன் அலை' என்று மாக்ஸ் பான் கருதினர்.

இயற்பியலில் 'நிகழ்திறன்' பற்றிய கருத்து நுழைதல்

முதுபழங் கொள்கையில் 'நிகழ்திறன்' என்ற சொல்லுக்கே இடமில்லை. துகள் அல்லது ஒரு பொருளின் இயக்கமானது அதன்மீது செயற்படும் விசைகளைக்கொண்டு முன்னதாகவே சரியாக அறியப்படுவதாகக் கருதுகிறோம். கருதும் கணத்தில் ஒரு பொருளின்மீது செயற்படும் விசைகளைத் தெரிந்து அக் கணத்திற்கு அடுத்த விநாடியில் அல்லது பல்லாயிரம் ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர், அப் பொருளின் நிலையையும் அதன் திசைவேகத்தையும் உறுதியுடன் தெளிவாக முன்கூட்டியே கூறமுடியும்.

ஆனால், கடந்த நூற்றாண்டில் இயற்பியலில் வாயுக்களின் அக இயக்கம்பற்றி அறியப்பட்டது. உடனேயே வாயுக்களின் மூலக்கூறுகளின் இயக்கத்திற்கு நியூட்டன் விதிகளை நேரடியாகப் பயன்படுத்த முடியாது என்ற உண்மை தெரியவந்தது.

நீங்களே ஒரு முடிவுக்கு வாருங்கள். வாயுவின் மிகச்சிறிய, கனஅளவில்கூட பல கோடிக் கணக்கான மூலக்கூறுகள் அடங்கியுள்ளன. அவற்றின் இயக்கத்தைச் சரியாகக் கூறவேண்டுமாயின் ஒவ்வொரு மூலக்கூறுக்கும் தனித்தனியாகச் சமன்பாடுகளைப் பெற்று அவற்றைத் தீர்க்கவேண்டும். மேலும், மூலக்கூறுகள் எக் கணத்திலும் அமைதியாக இருப்பதில்லை. அவை தொடர்ந்து ஏனைய மூலக்கூறுகளோடு மோதியவண்ணம் இருக்கின்றன. சில மூலக்கூறுகள் ஒன்றையொன்று விட்டு விலகியும் சில மூலக்கூறுகள் மற்ற மூலக்கூறுகளின் வழியாக ஊடுருவியும் செல்கின்றன. இந்த நிகழ்ச்சிகள் ஒவ்வொரு விநாடியிலும் பல்லாயிரக் கணக்கில் நடைபெறுகின்றன. இந்த மூலக்கூறுகள் எல்லாவற்றிற்கும் நியூட்டன் சமன்பாடுகளை எழுதுவது என்பது அறிவுடைய செயலன்று.

அவ்வாறு செய்தால், அச் சமன்பாடுகளை எழுதுவதிலேயே பல்லாயிரம் ஆண்டுகள் வீணுகும். அச் சமன்பாடுகளைத் தீர்க்க மேலும் பல ஆயிரம் ஆண்டுகள் வீணுகும். இந்த நேரத்தில் இம் மூலக் கூறுகளின் இயக்கங்கள் யாவும் முற்றிலும் மாறுபட்டு விடும்.

இதற்கு ஒரு வழிகாண முற்படும்பொழுது இயற்பியல் மேதைகள் பின்வரும் உண்மையைக் கண்டறிந்தனர். அதாவது நாம், நம்ப இயலாத வேகத்துடன் ஒன்றோடொன்று மோதிக்கொள்ளும் மூலக் கூறுகளின் இயக்கங்களைத் தனித்தனியாகக் காணக்கூடாது. ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயு முழுவதின் நிலையை அறிவதிலேயே நாம் கவனம் செலுத்தவேண்டும். அதாவது, வாயுவின் வெப்பநிலை, அடர்த்தி, அழுத்தம் மற்றும் பலவற்றையும் வாயு முழுவதையும் கருதியே காணவேண்டும்.

ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் திசைவேகத்தையும் தனித்தனியே காணவேண்டிய அவசியமில்லை. வாயுவின் நிலைக்கான எக் குணமும், அதன் மூலக்கூறுகளடங்கிய தொகுப்பனைத்திற்கும் பொருந்துவதாக இருக்கவேண்டும். இப்பொழுது இந்தக் குணங்களனைத்தும் பெரும்பாலும் வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி திசைவேகத்திலிருந்து கணக்கிடப்படுகின்றன. திசைவேகம் அதிகமிருந்தால் வெப்பநிலை அதிகமிருக்கும். இந் நிகழ்ச்சியின்போது வாயுவின் கன அளவில் மாறுதல் இல்லையெனில் வாயுவின் வெப்பநிலை அதிகரிக்கும்பொழுது அதன் அழுத்தம் அதிகரிக்கும். ஆனால், இந்தத் தொடர்புகளை நுட்பமாக அறிந்துகொள்வதற்கு மூலக்கூறுகளின் சராசரித் திசை வேகத்தை எவ் வழியிலாவது தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். இங்குதான் 'நிகழ்திறன்' கொள்கைப் பயன்படுகின்றது.

அக் கொள்கைப்படி, பின்வருமாறு கூறலாம். எல்லா நேரங்களிலும் ஒரு வாயுவின் எல்லா மூலக்கூறுகளும் ஒரே திசை வேகத்தைப் பெற்றிருக்கும் எனக் கருதுவது முறையன்று. மாறாக, அவை மாறுபட்டத் திசை வேகங்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. மேலும், மூலக்கூறுகளின் மோதலின் காரணமாக இந்தத் திசை வேகங்கள் தொடர்ந்து மாறுபடுகின்றன. எனினும், திசை வேகத்தில் இவ்வளவு ஒழுங்கற்ற மாற்றங்களிருந்தாலும் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் கொடுக்கப்பட்ட நிபந்தனைகளுக்கு மூலக் கூறுகளின் திசை வேகம் ஒரு நிலையான மதிப்போடு நிலவுகிறது. ஒரு மூலக்கூறை நாம் கருதும்பொழுது ஒழுங்கின்மை இருந்தாலும் மூலக்கூறுகளின் பெருங்கூட்டத்தைக் கருதினுல் ஒழுங்கு தென்படுகிறது. இதுவே, பெரும் எண்ணிக்கைகளுக்குரிய நிகழ்திறன் விதியாகும். நாம் கருதும் வாயுவின் கன அளவுகளில் நிச்சயமாக மிகவும் அதிக எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள் உள்ளன. எனவே,

எவ்விதத் தயக்கமுமின்றி நாம் வாயுவின் மூலக்கூறுகளுக்கு 'நிகழ் திறன்' விதியினைப் பயன்படுத்தலாம்.

இயற்பியல் மேதைகள், நிகழ்திறன் கொள்கையின் விதிகளின் அடிப்படையில் கிடைத்த புள்ளிவிவரங்களிலிருந்து மூலக்கூறுகளின் பெருங்கூட்டத்தின் இயல்புகளைக் கணக்கிடத் தொடங்கினர். ஆனால், அவர்கள், ஒரே ஒரு கருத்தில்மட்டும் நிகழ்திறன் கொள்கையோடு இசைய மறுத்துவிட்டனர். அதாவது, அவர்கள் கருத்துப்படி, மூலக்கூறுகளின் இயக்கம் ஒழுங்கின்றித் தன்னிச்சைப்படி ஏற்படுவதன்று. அவர்கள் ஒவ்வொரு மோதலின்போதும் ஒரு மூலக்கூறின் தனித்த இயக்கத்தை நியூட்டன் விதிகளைக்கொண்டு நிர்ணயிக்கலாம் என்று கருதினர். மேலும், ஒருவர் விரும்பினால் இந்தப் பல்லாயிரக்கணக்கான சமன்பாடுகளுக்கும் தீர்வு கண்டு எவ்விதச் சராசரி மதிப்புகளுமின்றி மூலக்கூறுகளின் இயக்கங்களை மிகவும் நுட்பமாக உறுதியாகச் சொல்லமுடியும் எனக் கூறினர். ஆனால், நாம் அவ்வாறு செய்வதில்லை. ஆனால், கொள்கைப்படி அவ்வாறு செய்ய இயலும்! ஒரு வாயுவின் இயக்கத்தை நாம் நிகழ்திறன் கொள்கை விதிகளைக்கொண்டும் புள்ளிவிவர விதிகளைக் கொண்டும் விவரிக்கிறோம். ஆனால், இவற்றுக்கும் மேலாக நியூட்டன் கொள்கையின் சரியான விதிகள் இருக்கின்றன.

முதுபழங் கொள்கை சற்றுத் தேவைக்கு அதிகமானதாக இருந்தது. தனித்த மூலக்கூறுகளின் இயக்கத்திற்கு நியூட்டன் விதிகளை எக் காரணத்தைக்கொண்டும் பயன்படுத்த முடியாது. இயற்பியலின் பின்தொடர்ந்த வளர்ச்சி இந்த உண்மையை நிரூபித்தது. வாயுவின் மூலக்கூறுகள் பில்லியர் பந்துகள் அன்று. அவை இயங்கி மோதிக்கொள்ளுகின்றன. அவ்வாறு மோதிக் கொள்ளும்பொழுது அவை முற்றிலும் மாறுபட்ட விதிகளைப் பின் பற்றுகின்றன.

எச்சரிக்கையுள்ள முன் அறிவிப்புகள்

இப் புதிய விதிகள் எலெக்ட்ரான்களாலும், அணுக்களாலும், மூலக்கூறுகளாலும் பின்பற்றப்படுகின்றன. முதன் முதலில் எலெக்ட்ரான்கள் இவ் விதிகளுக்கெதிராக செயற்படத் தொடங்கின. எலெக்ட்ரான்கள் முதுபழங் கொள்கைப்படியான பண்புள்ள என்ற சட்ட திட்டங்களுக்குக் கட்டுப்பட்டு இயங்க மறுத்தன. மாறாக, ஒரு புகைப்படத் தட்டைத் தாக்கும் சோதனையில் அவை தன்னிச்சைப்படியும் கட்டுப்பாடற்ற முறையிலும் இயங்கின. இவ்வாறாக, எலெக்ட்ரான்கள் கீழ்ப்படிய மறுப்பதைக் கண்ட சில அறிவியல் மேதைகள் அதிர்ச்சியுற்றனர்.

இயற்பியல் மேதைகள் தத்துவ இயலில் அறியாமை காரணமாக எளிதாக மனம்போனபடி சிந்திக்க முற்பட்டனர். எலெக்ட்ரான்கள் தனக்கென ஒரு வழியைக் கொண்டிருந்ததால் அவை எவ் விதியையும் பின்பற்ருமல் இருந்தது எல்லோரையும் குழப்புவதாக அமைந்தது. இவ்வாறு எலெக்ட்ரான்களுக்கான விதியில்லையெனில் எதுவும் விதிகளுக்கு உட்பட்டுதான் நடைபெறும் எனக் கூறும் அறிவியல் துறையை நாம் ஏன் நாடவேண்டும்? அவர்கள் கருத்துப்படி இறைவன் எலெக்ட்ரான்களைப் படைத்தார். (எனவே, உலகில் எல்லாப் பொருள்களையும் படைத்தார்.) இந்த எலெக்ட்ரான்கள் அவற்றின் தோற்றம்பற்றிய புனித விதியைத் தவிர மற்றெந்த விதிகளையும் பின்பற்ருமல் தன்னிச்சைப்படி இயங்கலாம் என்ற உரிமையளித்தார். அறிவியல் இவ் விதியைக் கண்டுபிடிக்கவில்லை. கொண்ட நம்பிக்கைக் காரணமாகவே இதனைப் பெற்றிருக்கிறது. இது மிகவும் எளியது ஆகும். எலெக்ட்ரானின் சுய விருப்பத்திலிருந்து முழுக்க முழுக்க இலட்சிய வாதத்தைக் கருதுகிருேம்.

பகுத்தறிவாளர்கள், முதுபழங் கொள்கையின் விதிகள் தோல்வியுறும் கட்டங்களில் இந்தப் புதிய விதிகள் பொருந்துகின்றன என்று கூறி இந்த இலட்சிய வாதத்திற்கு மறுப்புக் கூறினர். இதனை லெனின் முன்னதாகவே அறிவித்தார். நாம் இப்பொழுது விவரிக்கும் காலத்திற்கு இருபதாண்டுகளுக்கு முன்னர் அவர் எலெக்ட்ரான்களின் புதுமையான பண்புகளை எவ்வளவு கண்டுபிடிக்கிருேமோ அத்துணை அளவுக்கு நாம் சுற்றியுள்ள உலகைப்பற்றிச் சரியாகவும் முழுமையாகவும் அறிந்து கொள்ளமுடியும் என்று கூறினர்.

எலெக்ட்ரான்கள் முதுபழங் கொள்கையின் விதிகளைப் பின்பற்ற மறுத்துவிட்டன. ஆனல், அவை புதிய குவான்டம் கொள்கையின் விதிகளின்படி இயங்குகின்றன. அந்தப் புதிய விதிகள் எத் தன்மையுடையவை? முதலில் அவை யனைத்தும் நிகழ்திறன் கொள்கையின் விதிகள் ஆகும். எலெக்ட்ரான்களின் விளிம்பு விளைவுச் சோதனையில் கிடைத்த புகைப்பட நெகடிவ் தட்டில் உள்ள ஒளிவரிகளின் முக்கியத்துவம் யாது? புகைப்படத்தட்டில் இந்த இடங்களில் எலெக்ட்ரான்கள் சாதாரணமாகத் தாக்கவில்லை. அவை தன்னிச்சைப்படி யில்லாமல், கட்டுக்கடங்கிய பண்புகளுடன்தான் இந்தத் தகட்டைத் தாக்கியிருக்கின்றன என்பது வெளிப்படையாகத் தெரிகிறது.

மேலும், புகைப்படத்தட்டில் பெரும்பாலான எலெக்ட்ரான்கள் தாக்கியுள்ள கரும் வளையங்களும் இருக்கின்றன. ஆனல்,

எல்லா எலெக்ட்ரான்களுமே இவ் விடங்களில் தாக்குவதில்லை. புகைப்படத்தட்டில், வெண்மைக்கும் கருமைக்கும் இடைப்பட்டப் பழுப்புநிறப் பகுதிகள் சில இருக்கின்றன. ஒரு சராசரி எண்ணிக்கை யுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் இவ் விடங்களைத் தாக்கியிருக்கின்றன. இந்த உண்மைகளை நாம், துப்பாக்கி சுடும் பயிற்சியில் கிடைத்த துளைகளுக்கான பரவீட்டு வரைபடத்திலிருந்து தெளிவாக அறியலாம்.

இப்பொழுது நாம் மிகவும் முக்கியமான கருத்தொன்றைக் காண்போம்.

ஓர் எலெக்ட்ரான் தனது தோற்றுவாயிலிருந்து வெளிப்பட்டுத் திரைவழியாக ஊடுருவிச்சென்று படிகத்திஞல் பிரதிபலிக்கப் பட்டுப் பின்னர் புகைப்படத் தட்டை நோக்கிச்செல்கிறது. அத் தட்டின் எப் பகுதியில் அந்த எலெக்ட்ரான் தாக்கும்? முதுபழங் கொள்கை, கோணங்களையும், தொலைவுகளையும், திசைவேகங் களையும் மிகவும் நுட்பமாகக் கணக்கிட்டுப் புகைப்படத் தட்டில் 'இங்கு' தான் எலெக்ட்ரான் தாக்கும் எனக்கூறும். ஆனால், பெரும் பாலும் வழக்கமாக எலெக்ட்ரான் அப் பகுதியில் தாக்குவதில்லை. குவான்டம் கொள்கையின் கூற்று பின்வருமாறு அமையும்: புகைப் படத் தட்டில் எலெக்ட்ரான் தாக்குமிடத்தைச் சரியாகக் கூற இயலாது. ஆனால், கருப்பு வளையங்களைத் தாக்கும் வாய்ப்பு மிகவும் அதிகமாகவும் பழுப்புநிறப் பகுதிகளைத் தாக்கும் வாய்ப்பு சற்றுக் குறைவாகவும், ஒளிவரிகளைத் தாக்குவதற்கு வாய்ப்பே இல்லா மலும் இருக்கின்றது.

இது மிகவும் முன்னெச்சரிக்கையோடமைந்த கூற்றாகும். 'சரியாக'க் கூறி விளக்கவேண்டிய அறிவியலுக்கு இது புதுமை யாகத் தோன்றுகிறது. இது அறிவியல் கூற்றுபோலவே தோன்ற வில்லை. முதுபழங் கொள்கையின் முற்றிலும் சரியாகக்கூறும் பண்பு மிகவும் உயர்ந்ததே. ஆனால், அந்த முதுபழங்கொள்கையின் கூற்றுகள் பக்குவமற்றவையாகவும், தற்பெருமையோடு கூடியவை யாகவும், தெளிவற்றவையாகவும் இருப்பதை சிந்திக்கத் தொடங் கினர். உண்மையில் எண்ணிக்கையற்றக் குழப்பங்களையும் சிக்கலையும் பெற்ற இந்த உலகின் உண்மைகளை அறிந்துகொள்ளத் தொடங்கிய ஓர் கொள்கை, அதில் நடக்கும் செயல்களின் தன்மைகளை அறியாமலேயே மேலே கூறியதுபோல திட்டவட்ட மான கருத்துகளைக் கூறிஞல் நாம் அதுபற்றி வேறு வகையாகக் கூற இயலாது.

ஆனல், நாம் முதுபழங் கொள்கையின் விஷயத்தில் சற்றுக் கண்டிப்புடன் இருக்கிறேம்போலும். உலகில் அன்ருட நிகழ்ச்சி

களில் முதுபழங் கொள்கை மிகவும் சரியாக அமைகிறது. ஆனல், குவான்டம் (துகள்) துகள்களின் அலைப்பண்புகள் மற்றும் பல புதுமையான கருத்துகள் தோன்றியதும் அவற்றை விளக்க முது பழங்கொள்கையால் இயலவில்லை. ஆராய்ச்சிக்குட்பட்ட எவ் விஷயத்தைப்பற்றியும் ஒரு சரியான, மேலும் தெளிவான கருத்தைப் பெறுவதையே அறிவியல்துறை குறிக்கோளாகக் கொண்டிருக்கிறது என்பது உண்மைதான். அதுதான் அதன் குறிக்கோளாகும். ஆனல், 'எல்லாவற்றையும் கற்ருகிவிட்டது. இனி, அறிவியல்துறை ஆற்றவேண்டிய பணியேதுமில்லை' என நாம் எந் நாளும் கூற முடியாது.

இதுவே, அறிவியலின் கூற்றுகளில் உள்ள 'செய்யலாம்', 'வாய்ப்பு ஏற்படலாம்' போன்ற முன் எச்சரிக்கைக் குறிப்புகளின் பொருளாகும். வாய்ப்புபற்றி நாம் கூற முற்பட்டால், ஒரு நிகழ்ச்சிபற்றிய நமதறிவு முற்றிலும் சரியானதன்று. மேலும், முழுமையானதன்று எனப் பொருள்படும். ஒரு வானிலை அறிவிப் பாளர் பின்வருமாறு கூறினல் எத்துணை வேடிக்கையாக இருக்கும் என்பதை அறியலாம். 'நாளை வெப்பம் அதிகமிருக்கும், மழை இருக்காது. வெப்பநிலை காலை 9-மணிக்கு 23·8°C நண்பகல் 12-மணிக்கு 29·6°C. மாலை நான்கு மணிக்கு 27·4°C ம் இருக்கும். மதியம் 13·00 மணியளவில் இவ்வளவு நிமிடங்களில் இத்துணை சதுர மீட்டர் பரப்பைக்கொண்ட இதுபோன்ற இடங்களில் மேகம் தோன்றும். மாலை 5-மணிக்கு வடகிழக்குத் திசையில் மணிக்கு 12·3 கி. மீட்டர் திசைவேகத்தில் மேகம் நகரும்'.

வானிலையைக் குறிப்பிடப் பல்வேறு உண்மைகள் தேவைப்படு கின்றன. ஆனல், மேலே கூறியுள்ள நிலையில், வானிலையியல், வானிலை முன்னறிவிப்பை முழுமையாக்கும் பல உண்மைகளைச் சிறிதும் விவரிக்க இயலாது. நுண்ணியத் துகள்களைப்பற்றிக் கூறும் குவான்டம் கொள்கையின் நிலை இன்னும் சற்று அதிகக் கடினமான தாகும்.

துகள்களின் அலைகளும் அலைகளின் துகள்களும்

நாம் மீண்டும் டி பிராலி அலைகளைக் கருதுவோம். அவை எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தை நிர்ணயிக்கின்றன. ஆனல், அவை, எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தைத் தெளிவாகக் கூருமல் வாய்ப்புப் பண்போடு கூறுகின்றன. எலெக்ட்ரான்களின் விளிம்பு விளைவுச்சோதனைகளில் இந்த அலைகள், புகைப்படத்தட்டில் எலெக்ட்ரான்களால், பெரும்பாலும் தாக்கப்படும் பரப்புகளைக் குறிக்கின்றன. ஆனல், மாக்ஸ் பான், வாய்ப்பு அலைகளைத்தான்

டி பிராலி அலைகள் எனத் தவறுதலாகக் கருதிவிட்டாரோ? டி பிராலியின் அலைகள் மாறுபட்டதாக இருக்குமோ? அவ்வா றெனில் எளிதில் சரிபார்க்கலாம்.

டி பிராலியின் தொடர்பை நினைவுகொள்வோம். இத் தொடர்பில், எலெக்ட்ரானின் திசைவேகம் அதிகரிக்க, அதிகரிக்க அதன் அலைநீளம் குறைவதைக்காணலாம். X-கதிர்களின் அலை நீளங்கள் குறையக் குறைய அவற்றின் ஊடுருவும் பண்பு அதிகரிக்கும் என இயற்பியல் மேதைகள் முன்பே அறிந்திருந்தனர். X-கதிர்களின் அலைநீளம் குறைந்தால் அவற்றின் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் மிகவும் நெருக்கமாக அமைகிறது. பல்வேறு திசைவேகங் களைக்கொண்ட எலெக்ட்ரான்களோடு விளிம்பு விளைவுச் சோதனை கள் செய்யப்பட்டு முடிவுகள் ஆராயப்பட்டன. இதிலும், எலெக்ட் ரான்களின் திசைவேகம் அதிகரிக்க விளிம்பு விளைவுப்பாங்கத்தில் வளையங்கள் நெருக்கமாக அமைகின்றன என்பது தெளிவாக விளங்கியது.

இப்பொழுது இயற்பியல் மேதைகள் அலை நீளத்திலிருந்து, விளிம்பு விளைவுப்பாங்கத்தின் வளையங்களுக் கிடையேயுள்ள தொலைவைக் கணித்தனர். அவ்வாறே வளையங்களின் தொலை விலிருந்து அலைநீளத்தைக் கணக்கிட்டனர். வளையங்களுக்கிடையே யுள்ள தொலைவிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட எலெக்ட்ரான் அலைநீளங் களின் மதிப்பும் டி பிராலி தொடர்பிலிருந்து பெற்ற மதிப்பும் ஒன்றாகவே இருக்கும் உண்மை தெரியவந்தது. இனி நமக்கு ஐயமேயில்லை. வாய்ப்புக்கொள்கை அலைகளும் டி பிராலி கூறிய பொருள் அலைகளும் ஒன்றேயாகும். அவை, எலெக்ட்ரான்கள் படிகத்தில் பிரதிபலிக்கப்படும்பொழுதுமட்டும் தோன்றுபவை யன்று. எக் காலத்திலும் இணைந்திருப்பவை. அவை, எலெக்ட் ரான்களின் இயக்கத்தோடும் எக் காலத்திலும் இணைந்திருப்பவை யாகும். ஆனால், எல்லா சமயங்களிலும் அவற்றைக் கண்டறிவது கடினமாகும். துகள்களின் நிறையும் திசைவேகமும் அதிகரித்தால் டி பிராலி அலைகளின் அலைநீளங்கள் வேகமாகக் குறைந்து நமது கருவிகளின் உதவியால் காணமுடியாத அளவிற்கு அமைந்துவிடும். அப்பொழுதுதான் பொருள்களின் துகள் கொள்கை உண்மை யாகிறது.

நாம் கூறிய அலைப்பண்புகளைத் திரும்பவும் நினைவிற்கொள் வோம். ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைவரை அலைகள் (சான்றாக, மின்காந்த அலைகள்) துகள்பண்புகளைப் பெறாமல் அலைகளுக்குரிய பண்புகளையே பெற்றிருக்கின்றன. ஆகவே, அவை குறுக்கீட்டு விளைவு, விளிம்ப விளைவு போன்றவற்றை விளக்குகின்றன. ஆனால், அந்த அலைகளின்

நீளங்கள் போதுமான அளவிற்குக் குறைந்த உடனேயே அவை துகள்களைப்போல் இயங்கி உலோகத்திலிருந்து எலெக்ட்ரானை வெளியேற்றும் ஆற்றல் பெறுகின்றன.

இதற்குச் சிறந்த சான்ருக, காமாக்கதிர்களைக் கூறலாம். அவைதான் நமக்குத் தெரிந்த மின்காந்த அலைகளின் மிகவும் குறைந்த அலைநீளம் பெற்றிருக்கின்றன. அவை உண்மையான துகள்பண்புகளை வெளிப்படுத்தும்வகையில் மிகவும் எளிதாக பொருள்களின் துகள்களை வெளியேற்றுகின்றன.

டி பிராலியின் கண்டுபிடிப்பானது இயற்பியல் நிகழ்ச்சிகளில் துகள்கள் மற்றும் அலைகள் என்ற இரு தனித்த வேறுபட்ட பண்புடையவைகளாகத் தோன்றும் உண்மைகளைப் பாலமிட்டு இணைத்தது. ஒருமைப்பாடு கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருந்தாலும் இந்த எதிர்த் தரப்புகள் மறைந்துவிட்டதாகக் கூறமுடியாது.

இதற்குப் பிறகு நாம் கருதும் நுண்துகள் உலகில் அவை (வேறுபாடுகள்) ஆழத்தில் புதைந்து கிடக்கின்றன. அந்த நுண்துகளின் உலகில் கிடைக்கும் வியக்கத்தக்க உண்மைகளையும், அவை வாய்ப்பு அலைகளினுல் சரியாக விளக்கப்படும் தன்மைகளையும் காண்போம்.

' அலைகள்விதி வழியில் '

நுண்துகள் உலகில் எலெக்ட்ரான் மற்றும் ஏனைய துகள்களின் இயக்கத்தை இந்த வாய்ப்பு அலைகள் விளக்குகின்றன. 'விளக்குதல்' என்ற வார்த்தைக்கு நாம் இங்கு எவ்வாறு பொருள் கொள்ள வேண்டும் என்பதைக் காண்போம். ஒரு பொருளை அல்லது நிகழ்ச்சியை நாம் தன்மை குறித்தும் அளவு குறித்தும் விளக்கலாம். சாதாரணமாக, நாம் வழக்கில், தன்மை குறித்துத்தான் விளக்குகின்ருேம். ' இன்று மழை பெய்யும் ' என்று நாம் கேட்ட உடனேயே நாம் குடையை எடுத்துச் செல்கிருேமே தவிர எவ்வளவு உயரத்தில் மேகங்கள் உருவாகின்றன என்பதைக் கேட்பதில்லை.

ஆனுல், அறிவியலில் அதுவும் நுட்பம்பற்றிப் பேசப்படும் இயற்பியலில் தன்மைபற்றிய விளக்கம் பொதுவாகப் போதுமானதல்ல. நுட்பம் வாய்ந்த அளவீடுகள் தேவைப்படுகின்றன.

எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு புகைப்படத் தட்டில் தோற்றுவித்த விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தை நாம் அது அடுத்தடுத்த ஒளி மற்றும் கரு வளையங்களால் ஆனது என்று பெரும்பாலும் தன்மையியலானதாகவே இதுவரை விளக்கினேம். அதனையே நாம் அளவியலான

தாகவும் விளக்கலாம். அதாவது, தட்டில் பல்வேறு பகுதிகளிலும் கருமையின் அளவையறிந்து துப்பாக்கி சுடும் நிலையத்தில் செய்ததைப்போலவே வரைபடம் வரைந்து விளக்கலாம்.

இப்பொழுது நாம் இந் நிகழ்ச்சிக்கான கொள்கையொன்றைப் புனைந்தால் சரியாகிவிடும் என்பதுபோலத் தோன்றும். ஆனால், நாம் பல்வேறு உண்மைகளை விளக்கவேண்டிய நிலையில் இருக்கின்றோம். அறிவியலில் ஒவ்வொரு கருத்துக்கும் தனித்தனியே கொள்கைகளை உருவாக்கமுடியாது.

உண்மையில் இங்குதான் தற்கால அறிவியலின் தனிச் சிறப்பே அடங்கியுள்ளது. அது உருவாக்கும் கொள்கைகள், ஒன்றோடொன்று தொடர்புடைய நூற்றுக் கணக்கான நிகழ்ச்சிகளை விளக்குகின்றன. அதிகப்படியான நிகழ்ச்சிகளை விளக்கும் பரந்த தன்மையுடைய கொள்கைகள்தான் மிகவும் சிறப்புடையதாகவும், வலிமையுடையதாகவும் கருதப்படுகின்றன.

இயற்பியலில் தனித்த ஓர் முக்கியமான தொடர்பிற்காக வேண்டிய புதிய பெரிய கொள்கைகள் உருவாகத் தொடங்குகின்றன. இது இயக்கத்தின் விதி எனப்படும். நமக்கு, நியூட்டனின் இரண்டாவது இயக்கவிதி நன்கு தெரிந்ததே. அது ஒரு பொருளின் முடுக்கத்தை அதன்மீது செயற்படும் விசையின் திசையோடும் எண் மதிப்போடும் இணைக்கிறது. ஆனால், நாம் உண்மையில் விசையையும், முடுக்கங்களையும் காண்பதில்லை. நாம் காண்பதெல்லாம் ஒரு பொருளின்மீது விசைகள் செயற்படும்பொழுது காலத்தோடு அது பெறும் இடப்பெயர்ச்சிமட்டுமேயாகும். நியூட்டனின்விதி இந்த இயக்கத்தை நாம் அறிய வழிசெய்கிறது. 'முடுக்கமென்பது காலத்தோடு இயக்கத் திசைவேகம் பெறும்மாற்றமாகும்.' திசைவேகம் என்பது காலத்தோடு ஒரு பொருள் பெறும் இடப்பெயர்ச்சி ஆகும். எனவே, நியூட்டன் விதி விசையை ஒரு பொருளின் இடப்பெயர்ச்சியோடு இணைக்கிறது. எனவே, நியூட்டன் சமன்பாட்டைத் தீர்க்கும்பொழுது நாம் பொருளின் இயக்கத்தின் தன்மையை அறிகிறோம். அது ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்தில் பொருளுக்கான ஒரு வகை வரைபடமாகக் கூறப்படுகிறது. அந்த வரைபடத்தை நாம் விசைவீச்சு பாதை (trajectory) எனக் கூறுகிறோம்.

இயற்பியலில் பொருள்களின் இயக்கத்தைப்பற்றியல்லாமல் அலைகள் பரவுதலைப்பற்றிய மிகவும் பொதுவான விதியும் உண்டு. கணித முறைப்படி, இவ் விதி அலைச்சமன்பாடு அல்லது டி அலம்பர்ட் சமன்பாடு எனப்படும் தொடர்பு வடிவில் கூறப்படுகிறது.

இச் சமன்பாடு 18ஆம் நூற்றுண்டில் அதனைக் கண்டுபிடித்த ஃபிரான்சு நாட்டுக் கணித மேதையான டி அலம்பர்ட் என்பவர் பெயரால் வழங்கப்படுகிறது.

நியூட்டனின் சமன்பாடோ அல்லது டி அலம்பர்ட் சமன் பாடோ அதிகமான பொதுவிதிகளிலிருந்தோ அல்லது கருத்து வழியோ பெறப்பட்டவையல்ல. ஆனால், அவை சோதனைகளின் இறுதியான முடிவாகும். ஏனெனில், நியூட்டனுக்கும் டி அலம் பர்ட்டுக்கும் முன்னால் பலர் செய்த எண்ணற்ற சோதனைகளின் முடிவுகளின் கொள்கை அளவான பொதுக் கருத்தே இவ் விதி களாகும்.

கருத்துகளைக் கற்பனை வாயிலாகக் கண்டுபிடிப்பவரைவிட நிகழ்ச்சிகளில் மறைந்துள்ள புதிர்களை விடுவித்து ஒரு முக்கியமான விதியை அறிவிப்பவர் அல்லது அதில் மறைந்துள்ள விசையை உணர்பவர்தான் பெரும் மேதையாவார். அதாவது, அவ் விதியை அலசிப்பார்த்து ஆராய்ந்ததன் பயனாக அதில் உள்ள தற்செயலான முடிவுகளைக் களைந்து அவ் விதியைச் செம்மையுறச் செய்து அதனை ஒரு சிறிய தொடர்பாகச் சிறப்பாக அமைக்கமுடிகிறது. இந்தப் புதிய விதி அறிவியலின் மிகச் சிறப்பான வேலைப்பாடுகளுடன் கூடிய ஓர் அணிகலனாகத் திகழ்கிறது.

குவான்டம் கொள்கையின் பரந்த மாளிகையின் மூலைக்கல் போன்ற முக்கியமான விதி யாது? டி அலம்பர்ட் மற்றும் நியூட்டன் ஆகியவர்களது விதிகளின் இடத்தைப் பிடிப்பதற்குக் குவான்டம் கொள்கையின் புதிய விதி அவற்றைப்போல பொதுத்தன்மையை யாவது பெற்றிருக்கவேண்டும். மேலும், நுண் துகள்கள் அடங்கிய உலகின் இரு முகப்புத் தன்மையை, முன்பு கூறிய இரு விதிகளின் துணையின்றி, தனித்துக் குவான்டம் கொள்கையின் புதிய விதி விளக்கிக் கூறவேண்டும். துகள்களின் இயக்கத்தையும் அலை பரவு தலையும் இந்தக் குவான்டம் கொள்கை விதியே விவரிக்கவேண்டும்.

நீங்கள், என்ன எதிர்ப்புக் கூறினாலும், தனது விதியை நியூட்டன் எளிதில் நிரூபித்தார். அவர் தனது விதியை நிரூபிக்க ஏராளமான சோதனை முடிவுகள் இருந்தன. ஆனால், இப்பொழுது உள்ள நிலையில் ஒரு சோதனையின் முடிவுகூட அவருக்குச் சாதக மாக இல்லை. இந்தக் காலம் 1925ஆம் ஆண்டாகும். எலெக்ட் ரான்களின் விளிம்பு விளைவின் முடிவான சோதனை மேலும் மூன்றாண்டுகளுக்குப் பிறகுதான் நடத்தப்பட்டது. டி பிராலியின் தொடர்புத் துகள்களின் அலைநீளத்தைப்பற்றி மட்டுமே கூறவல்ல தாக இருந்தது. அது துகள் இயக்கம்பற்றி ஏதும் கூறவில்லை.

இருப்பினும் இயற்பியல் கொள்கை நிபுணர்கள் தாம் செல்லும் பாதை சரியானது என்ற உறுதியுடன் செயற்பட்டனர். டி பிராலி கருத்துக்கான சோதனை நிரூபணம் இல்லாமலேயே அவர்கள் புதிய கொள்கையை உருவாக்கத் தொடங்கினார்கள்.

நியூட்டனின் சமன்பாட்டில் துகள்களின் அலைப்பண்புகளைப் புகுத்தத் தொடங்கினார்களா? இல்லை. வரலாறு வேறு விதமாக உள்ளது. இயற்பியல் மேதைகள் டி பிராலியின் கருத்துப்படி, அலைச்சமன்பாட்டை அலைகளின் துகள் பண்புகளைப் பெற்றிருக்கும் வண்ணம் மாற்ற முற்பட்டனர். அது எளியதாக அமைந்தது.

இம் முயற்சியில் முதலில் வெற்றி பெற்றவர்கள் ஸ்ரோடிஞ்சர் மற்றும் ஐசன்பர்க் ஆவார்கள். ஆனால், அவர்களின் முறை மாறுபட்டவையாக இருந்தன. மேலும், ஒருவர் என்ன செய்து வந்தார் என்பது மற்றவர் அறியாதவண்ணம் இருந்தது. இவ் விருவருடைய கருத்துகளும் வெளியான பிறகு சிறிது காலத்திற்குப் பின்தான் ஸ்ரோடிஞ்சர், இவ் விரு கருத்துகளுக்கும் வெளிப்படையான கருத்து ஒற்றுமை இல்லை எனினும், அவை இரண்டுமே இயற்பியலின் கண்ணோட்டத்தில் ஒன்றே என நிரூபித்தார்.

குவான்டம் இயற்பியலின் அணி வடிவத்தை ஐசன்பர்க் கண்டு பிடித்தார். அது மிகவும் சிக்கலானதும் இந் நூலின் வரம்பிற்கப் பாற்பட்டதுமாகும். ஆனால், ஸ்ரோடிஞ்சர், அலைச் சமன்பாட்டில் டி பிராலி அலைகளின் துகள் பண்புகளைப் புகுத்தி அதனை மாற்றி அமைத்தார். இப் புதியச் சமன்பாடு ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடு என்று வழங்கப்பட்டது. இது குவான்டம் கொள்கையில் மிகவும் பிரசித்திபெற்ற சமன்பாடாகும்.

இவ்வாறு அலை விதியானது, குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படை விதியாக அமைந்தது.

அளக்கும் கருவிகளின் பங்கேற்பு

டி பிராலி அலைக்குத் திரும்புவோம். ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடு, பார்ன் விளக்கம் இவற்றின் அடிப்படையில் எலெக்ட்ரான்கள் இயங்கும்பொழுது எடுக்கப்படும் புகைப்படத்தட்டில் இவற்றின் அலைப்பண்பு வெளிப்படுகின்றன. புகைப்படத்தட்டில் தெளிவான பாங்கத்தை உண்டாக்க அநேக எலெக்ட்ரான்கள் தேவையென்று நாம் முன்னமேயே பார்த்தோம். ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கு டி பிராலி அலையால் என்ன உபயோகம்? எலெக்ட்ரான் அதன் பாதையிலிருந்து விலகி விளிம்பு விளைவு உண்டாக்க உதவியாகயிருக்கிறது. இவ் வகையில் ஏற்படாவிட்டால் விளிம்பு விளைவு தோன்றாது.

நுண் துகள் உலகத்தைப்பற்றியும் தெளிவாக கூறிவிட்டபோதிலும் துகள்களின் அலைக்கு மாறுன சில பண்புகள் இருக்கவேண்டுமென சிலர் கருதினர்.

நுண்துகள் உலகில் நடப்பவைகளை அறிய சரியான அளக்கும் கருவிகள் தேவை. உபயோகிக்கப்படும் கருவிகள் எலெக்ட்ரானின் பின்சென்று அதன் திசைவேகம், விஞடிக்கு விஞடி அதன் இருப்பிடம் இவற்றைக் கணக்கிடவேண்டும். எலெக்ட்ரானை பார்ப்பதற்கு அதிகப் பிரிதிறன் படைத்த நுண்ணேக்கி தயாரிக்கப்பட்டது. ஒரு பொருளைப் பார்க்க அதன் ஒளிப்படத்தைப் பெறலாம். ஒளியூட்டம் பொருளின் பரிமாணத்தைப் பொருத்தது. பொருளைப்பார்க்க உதவும் ஒளியின் அலைநீளம் பொருளின் அலைநீளத்தைவிட சற்றுக் குறைவாக இருக்கவேண்டும். பொதுவாக, நுண்ணேக்கியில் $0 \cdot 4$ லிருந்து $0 \cdot 8$ மைக்ரான் (1 மைக்ரான் $= 10^{-4}$ செ.மீ.) அலைநீளமுள்ள கண்ணுக்குப் புலப்படும் ஒளியை உபயோகித்து, இரண்டு அல்லது மூன்று மைக்ரான் அலைநீளமுடைய பொருளைப் பார்க்கலாம். ஆனல், அரை மைக்ரான் அலைநீளமுள்ள ஒளியில் பொருளைப் பார்த்தால் பிம்பம் தெளிவாகயிருக்காது. பொருளின் பரிமாணமும் ஒளியின் அலைநீளமும் ஒரே வரிசையளவுடையதானல் விளிம்பு விளைவு ஏற்படும். தெளிவான பிம்பத்திற்கு பதில் அடுத்தடுத்த இரட்டு ஒளி வளையங்களைக்கொண்ட விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் கிடைக்கும். ஒளியலையின் நீளத்தைவிட சிறிய பொருளாகயிருந்தால், ஒளிக்கற்றைப் பொருளைக்கடந்து ஒருவித விளைவும் உண்டாக்காமல் சென்றுவிடும்.

எலெக்ட்ரான் ஒரு தூசித்துகளோ அல்லது பாக்டீரியாவோ அல்ல, எலெக்ட்ரானின் அளவு (அளவு என்ற சொல் எலெக்ட்ரானுக்குப் பொருத்தமன்று என்பதைப் பிறகு எடுத்துக்கொள்ளுவோம்) அதைப்பார்க்க உபயோகப்படுத்தும் ஒளியின் அலைநீளத்தைவிடப் பன்மடங்கு சிறியது. ஆகையால், எலெக்ட்ரானை ஒளியூட்ட முடியாது. அதிர்ஷ்டவசமாக, இயற்கையில் மிகச்சிறிய அலைநீளமுள்ள காமாகதிர்கள் உள்ளன. காமாகதிர்களால் எலெக்ட்ரானை ஒளியூட்டலாம். இவ்விதம் செய்துபார்த்தும் பயனில்லை. எலெக்ட்ரானில் பிம்பத்தைப் பெறமுடியவில்லை. விளிம்பு விளைவு வளையங்களும் தோன்றவில்லை. எவ்வளவு முயன்றும் வெற்றிபெற முடியவில்லை. ஏனெனில், எலெக்ட்ரான் ஒரு தூசித்துகளுமல்ல, காமாக் குவான்டம் ஓர் ஒளி ஃபோட்டானுமல்ல, தூசிக்கு நிறையுண்டு. காமா ஃபோட்டானுக்கு உந்தமும் ஆற்றலுமுண்டு. போட்டானுக்கு எங்கிருந்து உந்தம் கிடைக்கின்றது? ஃபோட்டான் ஒரு துகள்போல் இயங்கக்கூடியது. இதைப்பற்றி ஐன்ஸ்டீன் ஒளியின் விளைவில் விளக்கம் கொடுத்திருக்கிருர். வெற்றிடத்தில்

ஃபோட்டானுக்கு ஒளியின் திசைவேகமுண்டு. ஆனால், இதன் அலை நீளம் மாறலாம்.

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

என்ற டி பிராலி சமன்பாட்டில், திசைவேகம் v-க்குப் பதில் ஒளியின் திசைவேகம் c-யைப் பொருத்தி ஃபோட்டானின் நிறையைக் கணக்கிடமுடியும். (இயங்காத நிலையில் ஃபோட்டானின் நிறை சுழி) சமன்பாட்டை மாற்றியமைத்தால்

$$m = \frac{h}{\lambda c}$$

நிறையை (m) திசைவேகத்தால் பெருக்கி வந்த பெருக்கல் பலன் ஃபோட்டானின் உந்தத்தைக் கொடுக்கும்.

$$p = mc = \frac{h}{\lambda}$$

இதிலிருந்து ஃபோட்டானின் உந்தம் அதிகமாகும்பொழுது அலைநீளம் குறைகின்றதெனத் தெரிந்துகொள்கின்றோம்.

ஒளி ஃபோட்டான் ஒரு துகளில் மோதியவுடன் துகளுக்குத் தன்னுடைய உந்தத்தை மாற்றிவிட்டு, ஒளியியல் நுண்ணோக்கி வழியாகக் கண்ணை வந்தடைகின்றது. துகள் சிறிதளவுகூட இடப் பெயர்ச்சி பெறுவதில்லை. அது ஸ்திர நிலையில் இருந்தால், அதே நிலையில் இருக்கும். இயங்கிக் கொண்டிருந்தால் திசையையோ, வேகத்தையோ மாற்றிக்கொள்வதில்லை. ஆனால், எலெக்ட்ரான் தூசியிலிருந்து மாறுபட்டது. எலெக்ட்ரானின் நிறை தூசியின் நிறையைவிட மிகமிகச் சிறியது. மிக அதிகமான வேகமுடைய எலெக்ட்ரானுக்குக்கூட உந்தம் மிகக் குறைவு. ஒளி ஃபோட்டானை விட அநேகமாக ஆயிரம் மில்லியன் மடங்கு அதிகமான உந்த முடைய காமா ஃபோட்டான்களை எலெக்ட்ரான்மேல் செலுத்தி பிம்பம் தோன்றுதல், விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் இவற்றை கவனத்தில் கொள்ளாமல் பார்வைப் புலத்தில் எலெக்ட்ரானைப் பார்த்தால், எலெக்ட்ரான் அவ் விடத்திலிருந்து வெளியேற்றப் படலாம் என்றுகூடக் கூறத்தோன்றும்.

இவ்விதம் கூறும்பொழுது சரியான முடிவிலிருந்து வெகு தூரத்திற்குச் செல்லவில்லை எனக்கொள்ளலாம். நாம் எலெக்ட்ரானில் திசை வேகத்தைக் கவனத்தில் வைத்துக்கொள்ள வேண்டும். ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் செல்லும் எலெக்ட்ரானின் திசை வேகத்தை சரியாகக் கணக்கிட்டுக் கூறமுடியாது. அப்போர்ப்

பட்ட எலெக்ட்ரானை காமா ஃபோட்டானால் ஒளியூட்டினால் அதன் திசை வேகம் மேலும் அதிகமாகலாம். மாறாக, எலெக்ட்ரான் நிலையாகவுள்ளது என்று கொண்டால், ஒளியூட்டப்பட்டவுடன் அது வெளியேற்றப்பட்டு விடுகின்றது. ஆகையால், அதன் இருப்பிடத்தைக் கணக்கிடமுடியாது. சாதாரணமாக, உபயோகப் படுத்தப்படும் நுண்ணோக்கியே சிறந்தது எனத் தோன்றுகின்றது. அதன் உதவியால் ஒரு துகளையோ பாக்டீரியாவையோ சுலபமாகப் பார்க்கமுடியும்; ஆனால், எலெக்ட்ரானை அவ்விதம் பார்க்க முடியவில்லை. எலெக்ட்ரானின் திசைவேகம் தெரியாது. அதைத் தீர்மானிக்க முற்பட்டால் எலெக்ட்ரான் மறைந்து விடுகிறது. இதை நுண்துகள் உலகத்தின் கைத்திறன் எனக்கூறலாம்.

தெளிவின்மைக் கூற்று

இதுவரைக் கூறப்பட்டவைகள் உண்மை நிலைக்கு வெகு பக்கத்திலிருப்பதாகக் கொள்ளலாம். தூசித்துகள்களைப்பற்றியும் எலெக்ட்ரானைப்பற்றியும் கணக்குப் போட்டால் இது விளங்கும். ஒரு மைக்ரான் குறுக்களவுள்ள ஒரு பொருளின் துகளை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். பொருளின் அடர்த்தி 10 கி./க.செ.மீ. எனக் கொள்வோம். (இரும்பின் அடர்த்தியைவிடச் சற்று அதிகம்) அது ஒரு நுண்ணோக்கியின் புலனில் விநாடிக்கு ஒரு மைக்ரான் திசை வேகத்துடன் நகருவதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது அதன் எடை 10^{-11} கிராமாகவும், உந்தம் 10^{-15} கிராம்/செ.மீ./செகண்டாகவும் இருக்கும். அதன்மேல் அரை மைக்ரான் அலைநீளமுள்ள (கண்ணுக்குப் புலப்படும் நிறமாலையில் இது பச்சை நிறத்தைக் காண்பிக்கும்) ஒளியைச் செலுத்துவோம். ஒளி ஃபோட்டானின் உந்தத்தின் அளவு 10^{-22}. இது துகளின் உந்தத்தைவிடப் பத்து மில்லியன் தடவைகள் சிறியது. ஆகையால், ஃபோட்டான் மோதலால் துகளில் ஒருவிதமான விளைவும் உண்டாகாது.

மறுதலையாக எலெக்ட்ரானை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் திசை வேகம் 10^{10} செ.மீ./செக. (ஒளியின் திசை வேகம்) என்று கொண்டால்கூட எலெக்ட்ரானின் உந்தம் 10^{-17} கி.செ.மீ./செக. தான் ஆகும். இதை ஒளியூட்ட உபயோகப்படும் காமா ஃபோட்டானின் அலைநீளம் மிகச்சிறியது (6×10^{-13} செ.மீ.) அதன் உந்தம் 10^{-14} ஆகும். இது எலெக்ட்ரானின் உந்தத்தைவிட ஆயிரக் கணக்கில் பெரியது. எனவே, ஒரு பெரிய இரயில் வண்டித் தொடர் ஒரு சிறிய இரயில் பெட்டியை மோதினால் எவ்வளவு சேதமேற்படுமோ அதேபோல் ஃபோட்டான் எலெக்ட்ரானை மோதினால் ஏற்படும். நுண்துகள் உலகில் ஏற்படும் இப்பேர்ப்பட்ட விளைவுகளை அளந்தறியும் கருவிகள் மிகக்குறைவு அல்லது அப்பேர்ப்பட்ட

கருவிகள் கிடையாது. இதிலிருந்து பொருளின் இயக்கத்தைத் துல்லியமாக அளந்தறிய முடியாது எனத் தெளிவாகின்றது.

இருப்பினும் அளந்து அறிவதாக வைத்துக்கொண்டால் ஏற்படும் பிழை எவ்வளவு? அல்லது அதில் ஏற்படும் தெளிவின்மையின் மதிப்பென்ன? ஹைசன்பர்க் குவான்டம் எந்திரவியலின் பொது விதிகளைக் கடைபிடித்து 1927-ல் தெளிவில்லாமை சமன்பாட்டை உண்டாக்கினர். அச் சமன்பாடு

$$\Delta x \times \Delta v_x \geqslant \frac{h}{m}$$

(h-க்குப் பதில் $h/2\pi$-யை உபயோகிக்கவேண்டும்) இதில் Δx என்பது பொருளின் இடப்பெயர்ச்சி x ஐ அளப்பதில் ஏற்படும் பிழை. Δv_x என்பது x திசையில் உள்ள v_x திசைவேகத்தில் உண்டாகும் சிறு பிழை. m பொருளின் நிறை. h ப்ளாங்க் மாறிலி. இரண்டு தெளிவில்லாமைகளின் பெருக்கற்பலன் வலதுகைப் புறத்திலுள்ள (h/m) தைவிடக் குறைவாகவிருக்கமுடியாதென்பதை $\geqslant$ என்ற குறி விளக்குகின்றது. பொருளின் இடப்பெயர்ச்சியைத் துல்லியமாக அளந்தால் Δx-ன் மதிப்பு சுழியாகவேண்டும். கணிதவியலின் விதிகளின்படி திசைவேகத்தின் தெளிவில்லாமை

$$\Delta v_x = \frac{h/m}{\Delta x} = \frac{h/m}{0} = \infty$$

அதாவது முடிவிலியாகிறது. பொருளின் இருப்பிடத்தை துல்லியமாக அளக்க முற்படும்பொழுது பொருளின் திசைவேகம் உறுதிப்பாடற்றதாக மாறிவிடுகிறது. மறுதலையாக, ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் பொருளின் திசைவேகத்தை துல்லியமாகக் கணக்கிடும்பொழுது, பொருளின் இருப்பிடத்தைத் திட்டவட்டமாகக் கூற முடியாது. இவ் இக்கட்டிலிருந்து எவ்விதம் விடுபடுவது? அளவீட்டில் உள்ள குறைபாடுகளுடன் எலெக்ட்ரானின் திசைவேகம், இருப்பிடம் இரண்டையும் எடுத்துக்கொள்ளவேண்டுமென்பது ஒரு சரியான நேர்த்தி வாய்ந்த சமரசமாகாது. தூசித்துகள், எலெக்ட்ரான் இவை யிரண்டையும் அளக்கும்பொழுது ஏற்படும் பிழைகளைக் கணக்கிடுவோம். ஒரு தூசித் துகளுக்கு $\Delta x = 10^{-8}$ செ.மீ., $\Delta v_x = 10^{-7}$ செ.மீ./செக. ஆகையால், ஹைசன்பர்க் சமன்பாட்டின் வலதுபக்க மதிப்பு 10^{-15}. மேலும், $\Delta v_x = v_x = 10^{-7}$: $10^{-4} = 10^{-3}$. இது ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கு. இதை திசை வேகத்தின் தெளிவில்லாமை எனக் கொள்வோம். இதைவிடக் குறைந்த திசைவேகத்தை அளக்கும் கருவிகள் உள்ளன. பொருளின் இருப்பிடத்தைக் கணக்கிடும் அளவில் தெளிவில்லாமையைக் கணக்கிடுவோம். $\Delta x = v = 10^{-8}$: $10^{-4} = 10^{-4}$. இது பத்தாயிரத்தில் ஒரு

பங்கு. இந்தப் பிழை துகளின் ஓர் அணுவின் பரிமாணத்திற்குச் சமம். இத்தகைய சிறிய மதிப்பால்தான் அடர்த்தியதிகமான பொருள்களில் தெளிவில்லாமை காணப்படுவதில்லை. ஆனால், எலெக்ட்ரான் முற்றிலும் மாறுபட்ட முடிவைக் கொடுக்கின்றது.

எலெக்ட்ரானின் பரிமாணம் கிட்டத்தட்ட 10^{-13} செ.மீ. (முதுபழங் கொள்கையில் கூறுவதுபோல் பரிமாணம் என்ற சொல் சற்றும் பொருத்தமற்ற சொல். அது முன்னமேயே சுட்டிக்காட்டப் பட்டது.) அதன் நிறை 10^{-27} கி. ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வித்தியாசமுள்ள புலத்தின் வழியாகச் செல்லும்பொழுது அதன் திசைவேகம் 10^7 செ.மீ./செக. வரிசையில் இருக்கும். இவற்றிலிருந்து தெளிவில்லாமையைக் கணக்கிட்டால் மதிப்பு 10 எனக் கிடைக்கின்றது. Δx, Δv_x இவற்றிலிருந்து பல்வேறு முறைகளில் இம் மதிப்பைப் பெறமுடியும். எடுத்துக்காட்டாக, தூசித் துகளை எவ்வளவு துல்லியமாக அளந்தோமோ அதே முறையைக் கடைப் பிடித்தால் எலெக்ட்ரானின் திசைவேகத்தில் தெளிவில்லாமை $\Delta v_x = 10^4$ செ.மீ., செ.கி. $\Delta v = 10^{-3}$ $(10^4 : 10^7 = 10^{-3})$ அதாவது, எலெக்ட்ரானின் இருப்பிடத்தை அளப்பதில் ஏற்படும் தெளிவில்லாமையின் மதிப்பு 4 எலெக்ட்ரானின் பரிமாணத்தைவிடப் பத்து இலட்சத்தைப்போல் ஆயிரம் மடங்கு பெரியது. தூசித் துகளுக்கும் எலெக்ட்ரானுக்கும் ஒற்றுமையே கிடையாது. நுண் துகள் உலகிற்கு இவ் ஒற்றுமை தேவையுமில்லை.

அளக்கும் கருவி, எலெக்ட்ரான் இவற்றில் எதைக் குறை கூறுவது ?

எதைக் குறைகூறுவது - எலெக்ட்ரானையா? கருவியையா?

முதுபழங் கொள்கையில் இதுவரை இப்பேர்ப்பட்ட சிக்கல் ஏற்பட்டதில்லை. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் துகளின் இருப்பிடம் அதன் திசைவேகம் இரண்டையும் முழுமையான துல்லியத்துடன் அளக்கமுடியுமென்று முதுபழங் கொள்கையில் கருதப்பட்டது. இவ் இரு அடிப்படை அளவுகள்தான் வேறொரு காலத்தில் பொருளின் இயக்கநிலையை முன்கூட்டிக் கூறப் பயன்படுகின்றது. ஆனால், துல்லியமாக அளக்கமுடியாதென்று இப்பொழுது தெரிகின்றது. இடர்ப்பாடு எவ்விடத்தில் இருக்கின்றது? அளக்கும் கருவியில் இருக்குமோ ?

அளவுகளை துல்லியமாக அறிந்துகொள்ள புதுப்புது கருவிகள் தயாரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன என்று சரித்திரம் சான்று கூறுகிறது. இன்றைய விஞ்ஞானத்திலும் தொழில் நுட்பக்கலையிலும் துல்லியமாக அளத்தல் என்பது கற்பனைக்கெட்டாத அளவு

முன்னேறி இருக்கிறது. ஆனால், தெளிவில்லாமைக் கூற்று இவ் விதம் அளக்கும் முறைக்கு ஓர் உச்சவரம்புபோல் தோன்றலாம். அளக்கும் கருவியில்தான் இடர்பாடுள்ளதென்று ஹைசன்பர்க், அவரை பின்பற்றி மற்றவர்களும் கூறினர். அண்டத்தைப் பார்க்க உதவும் தொலை நோக்கியிலிருந்து, நுண்பொருள்களைப் பார்க்க உதவும் கருவிகள் முற்றிலும் மாறுபட்டவைகள். இரு கருவிகளும் அளக்கத் தேவைப்படுகின்றன. பரந்த உலகத்தைப் பார்த்தறிய நம் புலன்கள் பயன்படுகின்றன. ஆனால், நம் புலன்களுக்கு ஒரு வரம்பு உண்டு. வரம்பிற்கு அப்பாற்பட்டவைகளை நம் புலன் களின் வரம்பிற்குள் கொண்டுவரக் கருவிகள் பயன்படுகின்றன. தொலைநோக்கிகொண்டு வானியல் பொருள்களை அளக்கும் பொழுது அவற்றின் இயக்கங்கள் பாதிக்கப்படுவதில்லை. ஆனால், நுண்ணோக்கியில் இவ்விதமில்லை. உபயோகப்படுத்தும் அதிநுட்பக் கருவிகள் (எடுத்துக்காட்டாக, அதிநுட்ப நுண்ணோக்கி) பார்க்கப் படும் நுண்துகள்களுடன் குறிக்கிட்டு உண்மையிலிருந்து மாறு பட்ட அளவைக் கொடுக்கின்றது. ஏனெனில், தெளிவில்லாமை காட்சிப் பதிவிற்கு ஓர் உச்சவரம்பை உண்டாக்குகின்றது.

சில இயற்பியல் மேதைகள் எலெக்ட்ரானில்தான் குறையிருக் கின்றதெனக் கூறினர். அவர்கள் கூற்றும் ஏற்றுக்கொள்ளும்படி இருந்தது. நுண்துகள் உலகத்தில் ஏற்படும் நிகழ்ச்சிகள் ஒரு தனி வகை விதிகளுக்கு உட்பட்டு செயல்படுகின்றன. அவற்றை அளந் தறிய அளக்கும் கருவிகள் தேவையில்லை. எலெக்ட்ரானுக்கு அலைப் பண்புண்டென்பது எதைக் குறிக்கின்றது? எடுத்துக்காட்டாக, ஓர் ஊசலின் அலைவு அதிர்வெண்ணை எடுத்துக்கொள்வோம். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அதிர்வெண் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு இருக்கும் எனக் கூறுவது பகுத்தறிவிற்கு அப்பாற்பட்ட செய்கை. முதலில் அலைவுகளை எண்ணி அவற்றின் மொத்தக் காலத்தை கணக்கிட்டுப் பிறகு ஓர் அலைவுக்கு ஆகும் நேரத்தை அறிய வேண்டும். அதேபோல் அலைநீளத்தையும் பார்த்தவுடன் கூற முடியாது. அலைத் தொகுப்புகளின் பண்பிலிருந்து கணக்கிடுவது தான் அலைநீளம். எப்பேர்ப்பட்ட அலையாக இருந்தாலும் அதன் நீளம் ஏதாவது ஒரு புள்ளியிலிருந்து கணக்கிடும் நீளத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது.

டி பிராலி சமன்பாட்டை மாற்றித் துகளின் திசைவேகம் இடதுகைப் பக்கம் இருக்கும்படி மாற்றினால்

$$v = \frac{h}{m\lambda}$$

எனக் கிடைக்கின்றது. அலைநீளம் அலையின் எந்த ஒரு புள்ளியையும் சாராமல் தனித்துள்ளதெனில், திசைவேகமும் ஒரு புள்ளியை

சார்ந்து கணக்கிடும் அளவைப் பொருத்ததன்று எனத் தெளிவாகிறது. எலெக்ட்ரானின் அலைப்பண்பு அளக்கும் கருவின் இத் தோல்விக்குக் காரணம். நுண்துகள் உலகத்தில் அளக்கும் கருவிகள் சரியாகத் தங்களை மாற்றிக்கொள்வதில்லை என்ற கூற்று சரியா? அல்லது நுண்துகள் உலகத்தில் ஏற்படும் நிகழ்ச்சிகளை அளக்க முடியாது என்பது சரியா! இவ் விரண்டு குறைகளும் சமமாக உள்ளனவெனக் கூறலாம். எலெக்ட்ரான், அளக்கும் கருவி இவ் விரண்டுமே 'இக் குற்றப்பழியை' ஏற்றுக்கொள்ள வேண்டுமென்பது ஹைசன்பார்க் சமன்பாடு காட்டுகின்றது. வேறு சில உண்மைகளையும் இச் சமன்பாட்டிலிருந்து பெறலாம். அவை யாவை?

குறைபாடுடைய கருவிகளால் ஒரு முயற்சி

அளக்கும் கருவிகளின் தேவையென்ன? முதற்கண் அவைகள் நாம் அறிய முற்படும் தகவல்களைக் கொடுக்கவேண்டும். ஆனால், கருவிகள் தன்னிச்சையாக இயங்காது. அவற்றை இயக்க மனிதர்கள் தேவை. நுண்துகள் உலகை ஆராயத் தேவைப்படும் கருவிகளுக்கு உள்நோக்கு, வெளிநோக்கு என்ற இருவகை நோக்குகள் இருக்கவேண்டும். உள்நோக்கில் நிகழ்ச்சிகள் குவான்டம் விதிகளுக்கு உட்பட்டு நமது புலனுக்குப் புலப்படும் விதத்தில் தகவல்களை வெளியிடவேண்டும். எலெக்ட்ரானின் இருக்கை, அதன் திசை வேகம் இரண்டையும் ஒவ்வொரு விநாடியும் கணக்கிட்டு தெரிவிக்கும்படி அளக்கும் கருவிக்கு கட்டளையிட்டால், அது ஒரே காலத்தில் இரு அளவுகளைக் கணக்கிடமுடியாமல் செயலற்று விடுகிறது. இரண்டு அளவுகளில் ஏதாவதொன்றைத்தான் அளக்க முடியுமென்று கூறுகின்றது. இந் நிலைக்கு இயற்பியல் மேதைகளையே குறைகூறலாம். எலெக்ட்ரானின் இருப்பிடம், அதன் திசைவேகம் இரண்டையும் ஒரே காலத்தில் கணக்கிடுவது கடினம். ஏனெனில், இவையிரண்டும் ஒன்றையொன்று சார்ந்ததன்று. இதில் தான் நுண்துகள் உலகத்தின் ஆச்சரியப்படக்கூடிய பண்பான துகள்களின் அலைப்பண்பு அடங்கியிருக்கின்றது. இதுவரை தொன்றுதொட்டு முதுபழங் கொள்கையில் கடைபிடித்துவந்த எளிதான அளக்கும்முறைகள், நுண்துகள் உலகிற்குப்பொருந்தாது. அதே சமயத்தில் முற்றிலும் பொருத்தமில்லையென்றும் கூறிவிட முடியாது. நுண்துகள் உலகத்திலும் அளக்கும்முறை ஒரே மாதிரியாகவுள்ளது. ஆனால், அது ஒரு வரம்பிற்குள் அடங்கியிருக்கின்றது. இவ் வரம்பு தெளிவில்லாமைச் சமன்பாட்டினால் உண்டாக்கப்படுகின்றது.

எலெக்ட்ரானுக்கு அலைப்பண்பில்லையென்று கருதினால், அதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட இருப்பிடம் உண்டென்று திட்டவட்டமாகக்

கூறலாம். அலைவடிவம் பொருளின் இருப்பிடத்தை பிசுபிசுக்கச் செய்துவிடுகின்றது. ஒரு புள்ளியில் நிலையாகவுள்ள எலெக்ட்ரானின் அலைநீளம் எண்ணிலா தொலைவிற்கு நீட்டப்பட்டு விடுகின்றது. ஆகையால், அதை அளப்பது கடினமாகி விடுகின்றது. மாருக, எலெக்ட்ரானின் வேகம் அதிகமாகிக் கொண்டேயிருந்தால், அது ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் கட்டுப்பட வழியுண்டு. இருப்பினும் மிகவும் அதிகமான திசை வேகத்திலும், அதன் இருப்பிடம் தெளிவாக இருக்காது. ஏனெனில், எலெக்ட்ரானின் பரிமாணத்தைவிட அது இருக்கும் புள்ளியின் பரப்பு வெகு அதிகம். எலெக்ட்ரானின் திசைவேகம் இருப்பிடம் இவை இரண்டுதவிர வேறு சில பண்புகளான துகள்களின் ஆற்றல், காலம்போன்ற கருத்துகள் மாற்றத்தை அடைகின்றன. மாற்றம் அடையும் இப் பழமைக் கருத்துகளை நீக்கிவிட்டு நுண்துகள் உலகிற்கு பொருந்தும்படி உள்ள புதிய கருத்துகளை ஏன் கடைப்பிடிக்கக் கூடாது என்று கேட்கலாம். ஆனுல், இவ் விதம் மாற்றியமைப்பது கடினம். ஏனெனில், இவைகள் நம் பார்வைப் புலன்களுடன் பிரிக்கமுடியாதபடி தொடர்புடையதாக உள்ளன. இதைப்பற்றி இப் புத்தகத்தின் இறுதியில் எடுத்துக்கொள்வோம். விஞ்ஞானத்தில் பழக்கப்பட்ட கோட்பாடுகளை தேவைக்குத் தகுந்தாற்போல் அவ்வப்பொழுது மாற்றியமைப்பது கடினம். அண்டம், உயிருள்ள பொருள்கள், உயிரற்ற பொருள்கள் மேலும், அணுக்கள் இவற்றைப்பற்றிய பழங்கருத்துகளை மாற்றிக்கொள்வதற்கே அநேக ஆயிரம் வருடங்களாயின. மேலும், நூறு வருடங்கள் கழித்து இக் கருத்துகள் எவ்வித மாற்றமடையுமென இக் கட்டத்தில் கூறமுடியாது.

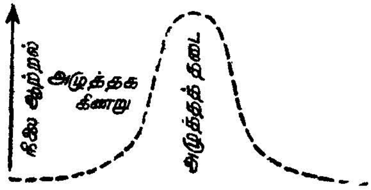
இந் நூற்றுண்டில் மனிதனின் அறிவு விசித்திரபாணியில் வளர்ந்துகொண்டு வந்திருக்கின்றது. இருப்பினும், இப் புதிய கருத்துகள், புதிய கண்டுபிடிப்புகள் இன்னும் பின் தங்கியே இருக்கின்றன. மேலும், இவை முரண்பாடுடையவைகளாகவும், கடினமாகவும் உள்ளன. இவற்றைக் 'கருத்துகளின் நாடகம்' என்று ஐன்ஸ்டீன் கூறியது சரியாகவுள்ளது. முதுபழங் கொள்கையின் கருத்துகளை நுண்துகள் உலகிற்கு நீட்டினுல் இவ் வித விளைவுதான் ஏற்படும்.

மற்றுமொரு வியக்கத்தகு நிகழ்ச்சி

அடுத்தவீட்டு வேலியோரம் தொங்கும் செர்ரிப் பழங்களைப் பறிப்பது சிறுவர்களின் சாதாரண விளையாட்டு. இதைத் தடுக்க வேலியின் உயரம் அதிகமாக்கப்படுவதுண்டு. சிறுவர்கள் வேலியைத் தாண்ட முயலுவார்கள். அல்லது ஓர் ஏணியையோ, வேறு

சாதனத்தையோ உபயோகித்து தாண்ட முயற்சி செய்வார்கள். வேலியைத் தாண்ட அநேக முறைகள் உள்ளன. அதில் வேலியை ஊடுருவிச்செல்லும் முறையுமொன்று. ஆனால். அவற்றைப்பற்றி சிறுவர்கள் அறிந்திருக்கமாட்டார்கள். அதேபோல் நுண்துகள் உலகிலும் திடச்சுவரின் வழியாக ஊடுருவிச் செல்லும் துகள்களைப் பற்றி அறியலாம்.

வேலியைத் தாண்டுவதைப்பற்றி சற்று கவனமாகப் பார்ப்போம். ஒரு பொருளை உயரமான இடத்திலிருந்து கீழிறிக்கினால் நிலையாற்றலில் குறைவு ஏற்படும் என்று சிறுவகுப்பிலிருந்து படித்துக்கொண்டு வருகின்றோம். ஏணியின் மேலிருப்பவனை ஒப்பிடில் தரையிலிருப்பவருக்கு நிலையாற்றல் குறைவு. எவ்வளவு குறைவு எனக் கணக்கிடமுடியும். இரண்டு நிலைகளின் புவியீர்ப்புமையங்களின் இடைவெளி தூரத்தை மனிதனின் எடையால் பெருக்கிக் கிடைக்கும் மதிப்பு இரண்டு நிலைகளுக்குமுள்ள நிலையாற்றல் வித்தியாசத்தைக் கொடுக்கும். வேலியின் உயரம் தெரிந்தால், நிலையாற்றலைக் கணக்கிடமுடியும். ஒருவன் இவ் வாற்றலைப் பெற்றுக்கொண்டு வேலியைத் தாண்ட முடியும். கை, கால் தசைகளின் உதவியாலோ அல்லது மற்றவர்களைக்கொண்டு தன்னை உயரத்திலிருத்திக்கொண்டே வேலியின் உயரத்தையடைய முடியும். அவ் வுயரத்திலிருந்து வேலியைத் தாண்டிக் கீழே குதிப்பது சுலபம். வேலியைத்தாண்டித் தரை மட்டத்தையடைந்த பிறகு, ஒருவனின் நிலையாற்றல், வேலியைத் தாண்டுவதற்கு முன்னால் உள்ளத்திற்குச் சமம். வேலியைத் தாண்டும்பொழுது ஏற்படும் நிலையாற்றல்மாற்றத்தை ஒரு வரைபடம்மூலம் காட்டினால் அதில் ஒரு முட்டு தென்படும் (படம் 4). இம் முட்டிற்கு மின்அழுத்த அரண் எனப் பெயர்.

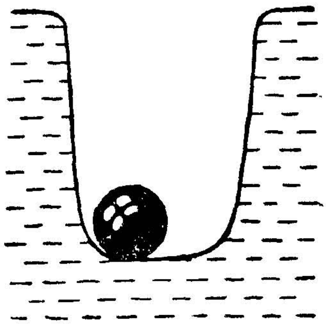


படம் 4

அணுக்களில் இப்பேர்ப்பட்ட அரண்கள் உள்ளன. உதாரணத்திற்கு ஓர் உலோகத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். அதில் அநேக கட்டுப்பாடற்ற எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. இருப்பினும் இவைகள் அணுவிலிருந்து தானாக வெளியேறுவதில்லை. ஆகையால் இவற்றை முற்றிலும் கட்டுப்பாடற்றவை எனக் கூறமுடியாது. கட்டுப்பாடு மிகவும் மெலிந்தவையாக இருக்கலாம். அணுவில் தோன்றும் அயனிகளுள் (அடுத்த அத்தியாயத்தில் இதைப்பற்றி எடுத்துக்கொள்வோம்). இவ் எலெக்ட்ரான்கள் ஈர்க்கப்படுகின்றன. எல்லா அயனிகளின் மொத்த ஈர்க்கும் விசைகளை ஒன்று

சேர்த்து அவற்றை பெரிய சுவருடைய ஒரு பரப்புபோல் கருதலாம். இப் பரப்பிற்குள் எலெக்ட்ரான்கள் தன்னிச்சையாக இயங்கலாம். இவற்றிற்கும் வெளி உலகிற்கும் எவ்விதத் தொடர்புமில்லாமல் சுவர் தடுக்கின்றது.

போர் கொள்கையில் கூறியதுபோல் ஓர் உலோகத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்களை ஒரு துளையிலுள்ள பந்துபோல் கருதலாம். உலோகத்திற்குள் எலெக்ட்ரான்கள் எங்கு வேண்டுமானாலும் சுற்றித் திரியலாம். ஆனால், உலோகப் பரப்பைவிட்டு வெளியேறமுடியாது. இக் காரணத்தினால் எலெக்ட்ரான்களின் நிலையை 'அழுத்தக்கிணறு' எனக் குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

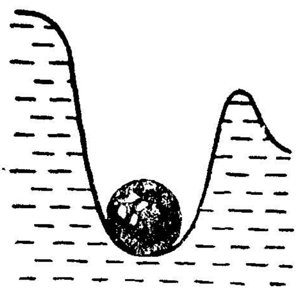


படம் 5

எலெக்ட்ரான்களை சில நிபந்தனைகளுக்குட்படுத்தி அவற்றை உலோகப் பரப்பைவிட்டு வெளியேற்றமுடியும். உலோகப் பரப்பை சிறிய அலைநீளமுள்ள ஒளியை விழச்செய்து எலெக்ட்ரானை நீக்கமுடியும். ஆற்றல் மிகுந்த ஃபோட்டான் எலெக்ட்ரானைத் தாக்கி மின்னழுத்த அரணை தாண்டச்செய்து, முற்றிலும் கட்டுப்பாடற்றதாக மாற்றிவிடும். இம் முறையைத்தான் பழங் கொள்கையில் அரணைத்தாண்ட வழி எனக் கூறப்பட்டது. சிறுவர்கள் குதித்தெழுந்து வேலியைத் தாண்டுவதற்கு இது சமம்.

படத்தில் (படம் 4) வேலியைப் பார்த்தால் அது ஒரு வேலிச் சுவர் போலில்லை என்பது தெரியவரும். அரணுக்கு முன்பக்கத்தில் அழுத்தக் கிணறு உள்ளது. பின்பாகம் கிடையாது. இது ஒரு மெத்தைப்படிபோல் உள்ளது. தரையிலுள்ள பந்திற்கு ஒரு வேலியை உண்டாக்க, பந்தைச்சுற்றிக் குழிதோண்டிவிட்டால் போதுமானது. இப்பொழுது குழியிலுள்ள பந்திற்கும், உலோகத்திலுள்ள எலெக்ட்ரானுக்கும் அரண் ஒரே வடிவத்தில் இருக்கும் ஆனால், வடிவத்துடன் ஒற்றுமை முடிந்துவிடும். நியூட்டன் சமன்பாட்டை உபயோகித்து கணக்கிட்டால் பந்தின் ஆற்றல் குறைவு என்றும் ஆகையால், அது குழியைவிட்டு வெளிவர முடியாது என விளங்கும். படத்தைப் பார்த்தே இதைச் சொல்லிவிடலாம். குதித்து எம்பாமல் வேலியை எப்படி தாண்ட முடியாதோ அதே போல் பந்து தேவையான ஆற்றலைப் பெறாமல் குழியைவிட்டு வெளியேறாது.

முதுபழங் கொள்கைப்படி பந்து தானாகவே குழியிலிருந்து வெளிவர வழி கிடையாது. அதாவது, பந்து தானாகவே வெளியேறும் நிகழ்திறன் சுழியெனலாம். இப்படியிருக்க மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஓர் உலோகத் துண்டிலுள்ள எலெக்ட்ரானுக்கு ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டை உண்டாக்கி விடை கண்டுபிடித்தார். விடை எதிர்பாராதவாறு இருந்தது. அதாவது, எலெக்ட்ரான் வெளியேறுவதின் நிகழ்திறன் சுழியாவதில்லை. மேலும் எந் நிலையிலும் சுழியாவதில்லை. ஆனால், நிகழ்திறன் சிறிய மதிப்புடன் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ள முடியாத அளவு சிறியது. இருப்பினும் மறைந்து விடுவதில்லை.



படம் 6

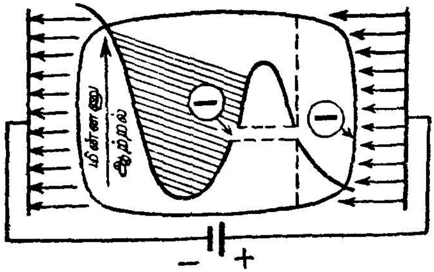
இவற்றிலிருந்து ஒரு முக்கியமான உண்மை புலப்படுகின்றது. அதாவது, எலெக்ட்ரான் கசிந்து அரணுக்கு வெளியே வர வழியிருக்கின்றது. முதுபழங் கொள்கைக்கு முற்றிலும் மாறுபட்ட முடிவு. மறைவாகவுள்ள சில விசைகள் அரணில் ஒரு புழலை உண்டாக்கி எலெக்ட்ரான் வெளியேற வழி செய்யப்பட்டதுபோல் தோன்றுகிறது. இப்பேர்ப்பட்ட வியக்கத்தக்க நிகழ்ச்சியை 'புழல் விளைவு' என இயற்பியல் மேதைகள் பெயரிட்டனர்.

மேலும் தெளிவின்மை விதிபற்றி

ஒரு பக்கத்தில் குவான்டம் இயக்கவியல் இந்த வியக்கத்தக்க முடிவை விளக்க முயன்றுகொண்டிருக்கும்பொழுது, நமது அளக்கும் கருவிகள் நம்மை தளர்ச்சியடையச் செய்தன. அரணிலிருந்து கசிந்து செல்வது முதுபழங் கொள்கைக்கு முரணானது. முதுபழங் கொள்கையின் அடிப்படையில் இந் நிகழ்ச்சியை அளந்து கசிவு ஏற்பட வழியில்லை என்று நிரூபித்துக் காண்பிக்க முயன்றார்கள்.

குழியிலுள்ள பந்தின் மொத்த ஆற்றல், இயங்கு ஆற்றல், நிலை ஆற்றல் இவற்றின் கூட்டுத்தொகை, எதிர்க்குறியுடன் கூடியது. ஏனெனில், பந்தின் நிலையாற்றலின்(எண் மதிப்பு, இயங்கு ஆற்றலின் எண்மதிப்பைவிட அதிகமாகவும் எதிர்க்குறியுடன் குழியின்மேல் மட்டத்திலிருந்து நிலையாற்றல் கணக்கிடப்படுகின்றது. கீழே செல்வதால் அது எதிர்க்குறியாகின்றது) கூடியதாகவும் இருக்கின்றது. அரணுக்குள் இருக்கும்பொழுது பந்தின் மொத்த

ஆற்றல் எதிர்க்குறியுடன் கூடியதாக இருக்கவேண்டும். ஏனெனில், கசிந்து செல்வதில் ஆற்றலின் எண் மதிப்பில் மாற்றமில்லை. பள்ளத்



படம் 7

திலிருந்து தரைமட்டத்தையடையும்பொழுது நிலையாற்றலின் மதிப்பு குறைகின்றது. அரணின் மேல்மட்டத்தில் மொத்த ஆற்றல் சுழிநிலையடைகின்றது. இவற்றிலிருந்து அரணுக்குள் உள்ள பந்தின் இயங்கு ஆற்றல் எதிர்க்குறியை அடைந்திருக்க வேண்டுமென்று முடிவுகட்டலாம். இது எப்படி என்று சற்று சிந்திப்போம்.

$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2}$$

திசைவேகத்தின் இருமடி எப்பொழுதும் நேர்குறியுடன் கூடியது. வகுக்கும் எண் (2) நேர்குறி எண். இயங்கு ஆற்றல் எதிர்க்குறி யென்றால், m எதிர்க்குறியாகவேண்டும். ஆனால், எதிர்க்குறி நிறையைக் கற்பனைசெய்து பார்க்கமுடியாது. குவான்டம் இயக்க வியலிலும், முதுபழங் கொள்கையிலும், எதிர்குறி நிறையை ஏற்றுக்கொள்வதில்லை. ஓர் இரயில் வண்டித்தொடர் மாஸ்கோவி லிருந்து லெனின்கிராட் திசையில் சென்றுகொண்டிருக்கும் பொழுது, இரயில் வண்டிப்பெட்டிகள் லெனின்கிராட்டிலிருந்து மாஸ்கோவிற்குச் செல்லுகின்றது என்று கூறினால் எவ்வளவு பைத்தியக்காரத்தனமான கூற்றாக இருக்குமோ அதேபோல்தான், இருக்கின்றது நிறைக்கு எதிர்க்குறியுண்டு என்ற கற்பனை.

இது முட்டாள்தனமான முடிவு என நிலைநாட்ட எலெக்ட் ரானைப் பார்வையிடவேண்டும். அதற்கு ஒரு கருவி தேவை. எலெக்ட்ரான் அரணின் எல்லையை அடைந்து கசியும்பொழுது அதன் திசை வேகமென்ன என்று கணக்கிடவேண்டும். அப்பொழுது இயங்கு ஆற்றல் எதிர்க்குறியடைய வழியுண்டா வென்று தீர்மானிக்கலாம். ஆனால், இதைத் தீர்மானிக்க கருவியால்

முடியாது. ஹைஜசன்பர்க் தெளிவில்லாமைச் சமன்பாடுதான் உதவும்.

எலெக்ட்ரானின் இருப்பிடத்தைக் காண அதை சிற்றலை ஃபோட்டானால் ஒளியூட்டவேண்டும். மின்னழுத்த அரணின் அகலம் மிகக்குறைவாக விருப்பதால், அதேயளவு துல்லியத்துடன் எலெக்ட்ரானின் இருப்பிடத்தை அளக்கவேண்டும். ஆகையால், மிகச்சிறிய அலைநீளத்தை உடைய ஃபோட்டான்களுடன் மோதல் ஏற்பட்டால், எலெக்ட்ரானின் திசைவேகத்தில் தெளிவில்லாமை உண்டாக்கப்படும். இத் தெளிவில்லாமை எலெக்ட்ரானின் இயங்கு ஆற்றலுக்கும் ஏற்பட்டு, அதன் எண்மதிப்பை அரணின் மேல் மட்டத்திற்கு உயர்த்திவிடுகின்றது. ஆகையால், எலெக்ட்ரான் கசிவைபார்க்க முடியாது. ஒரு காவல்காரன் திருடனை தப்பியோட உதவிசெய்தால் எப்படியிருக்குமோ அப்படியிருக்கிறது கருவியின் செய்கை. உபயோகப்படுத்தப்படும் கருவி தேவையான அளவு ஆற்றலைக் கொடுத்து எலெக்ட்ரானை அரணிலிருந்து தாவிச்செல்ல உதவுகின்றது.

நுண்துகள் உலகில் ஏற்படும் அநேக நிகழ்ச்சிகளுக்கு இது ஓர் எடுத்துக்காட்டு. முதுபழங் கொள்கையின் வாயிலாக நோக்கும் பொழுது, குவான்டம் இயக்கவியல் அநேக வியக்கத்தக்க செயல் களை வலியுறுத்துவதாகத் தோன்றும். பழங்கொள்கை கருவிகளை உபயோகித்து இவைகளெல்லாம் தப்பு என்று நிரூபிக்கமுடியாது. கருவியின் உதவியால் அரணுக்குள் உள்ள எலெக்ட்ரானைப் பார்க்கும் தருணத்தில் அது மறைந்துவிடுகிறது. மின்னழுத்த அரணுக்குள் ஒரு துகள் உள்ளது என்ற கூற்று குவான்டம் இயந்திர வியலின் ஒவ்வாத கருத்து. இருப்பினும் துகள் அரண்வழியாக கசிந்து செல்வது உண்மை. இவ்வித புதைமறைவான உண்மைக்கு எலெக்ட்ரானின் அலைப்பண்பு விடைகொடுக்கும். நுண்துகள் உலகின் மற்ற வினைவிற்கும் துகள்களின் அலைப்பண்பு விளக்கத் தைக் கொடுக்கும்.

மீண்டும் பொருள்களின் அலைகளைப்பற்றி

துகள்களின் திசைவேகங்கள் அவற்றின் இருக்கை நிலையி லிருந்து விடுபடும்பொழுது, அலைப்பண்பு தோன்றுகின்றது. நுண் துகள் உலகில் பொருள்களின் பாதைகள் என்பது கிடையாது. ஆனால், பொருள்களின் நிலை நிலையாற்றலைக் கட்டுப்படுத்துகின்றது. அதேபோல் இயங்கு ஆற்றலைப் பொருள்களின் திசைவேகங்கள் தீர்மானிக்கின்றன. ஆகையால், இயங்கு ஆற்றலையும் நிலை யாற்றலையும் ஒரே காலத்தில் துல்லியமாகக் கணக்கிடமுடியாது.

ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் இரண்டும் தனித்தனியான எண்ணிக்கைகள். ஒரு வரம்பிற்கு உட்பட்டு, அணு உலகில் ஆற்றலை தெளிவில்லாமை சமன்பாட்டினால் கணக்கிடமுடியும்.

ஒரு துகள் தானாகவே மின்னழுத்த அரணிலிருந்து வெளியுதவியில்லாமல் வெளியேற சிறிதளவு நிகழ்திறன் உண்டு. இதிலிருந்து துகள் அரணிற்குள் இருப்பதற்கும் நிகழ்திறன் உண்டு எனக் கூறலாம். ஓர் அரணுக்குள் ஆயிரம் எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன எனக்கொள்வோம். அதில் 10 எலெக்ட்ரான்கள் கசிந்து சென்றால், புழல்விளைவின் நிகழ்திறன் 1 சதவீதம், புழல்விளைவு ஏற்படாமலிருக்கும் நிகழ்திறன் 99 சதவீதம். இவ் விரண்டு நிகழ்திறன்களையும் முறையே மின்னழுத்த அரணின் ஊடுருவுதிறன் என்றும், எதிரொளிப்புத்திறன் என்றும் கூறுவார்கள். ஊடுருவு திறன், எதிரொளிப்பு திறன் இவற்றின் இயற்பியலின் பழக்கமான, நடப்பிலுள்ள வார்த்தைகள். பொருள்களின் ஒளியியல் பண்புகளை விளக்க உபயோகப்படும் வார்த்தைகள். இரு ஊடகங்களின் தொடுபரப்பில் ஒளி பகுதி எதிரொளிப்பும் பகுதி ஊடுருவுதலும் அடைகிறது. அதேபோல் மின்னழுத்த அரண் இரண்டு ஊடகங்களுக்கு இடையில் உள்ள தொடுபரப்பாகக் கருதலாம். இத் தொடுபரப்பு மின்காந்த அலைகளுக்கு (ஒளி உட்பட) மட்டுமல்லாமல் டி பிராலி அலைகளுக்கும் உண்டு. வெவ்வேறு பொருள்களின் எல்லைகளுக்கிடையே பொருந்தும் ஒளி அலையின் எதிரொளிப்பு விதிகளும் ஊடுருவல் விதிகளும் மிகநன்றாக 'புழல் விளைவின்' விதிகளுக்குப் பொருந்துகின்றன. வேலியை ஒரு சாதாரணமான எடுத்துக்காட்டாக நாம் முதலில் எடுத்துக் கொள்ளவில்லை. வேலிக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட உயரமுண்டு. மின்னழுத்த அரண் மாடிப்படிகளைப்போல் ஒரு பக்கத்தைமட்டும் உடையதாக எடுத்துக்கொண்டால் 'புழல் விளைவு' முற்றிலும் மறைந்துவிடும். புழலின்நீளம் எண்ணிலா தொலைவாகவிருந்தால், புழலைத்துகள்கள் கடக்காது. இவ் விடத்தில் முதுபழங் கொள்கையின் தடை முழுமையடைகின்றது. அளக்கும் கருவிகளுக்கு இது ஒரு வெற்றிபோல் தோன்றும். அரண் அதிக நீளமுடையதாகயிருந்தால், துகளின் இருப்பிடத்தைக் காணமுடியும், அதன் திசை வேகத்தையும் இயங்கு ஆற்றலையும் கணக்கிடலாம். இந் நிலையில் தெளிவில்லாமை மறைந்துவிடும். அல்லது அளவில் இடர்ப்பாடு உண்டாக்காது. இவ் வகையில் ஆற்றலைக்கணக்கிட்டால் ஆற்றல் எதிர்க்குறியுடன் இருக்கும்.

இயற்கைக்கு நேர்மாறான விளைவு எப்பொழுதுமே ஏற்படாது எதிர்க்குறி இயக்க ஆற்றல் இருக்கமுடியாது. ஆகையால் 'புழல்

விளைவு' மறைந்து விடும். மேற்படி கூற்றை சிலர் ஒத்துக் கொள்ள மறுக்கலாம். புழல் விளைவைப்பற்றி கூறப்பட்டதெல்லாம் வெறும் கற்பனையா என்று கேட்கலாம். சற்று ஆராய்ந்தால் உண்மை புலப்படும். வெப்பமேற்றப்பட்ட உலோக இழையிலிருந்து அநேக எலெக்ட்ரான்கள் வெளியேறுகின்றன. கொடுக்கப்பட்ட வெப்ப ஆற்றல் உலோகத்தின் மேற்பரப்பிலுள்ள அரணிலிருந்துவிடபடப் போதுமானது. ஆனால், இது குளிர்ந்த உலோகத்தில் நடக்கக் கூடியதல்ல. அதே உலோகத் துண்டை அதிகமான ஒரு மின்புலத்தில் வைத்தால் மறுபடியும் எலெக்ட்ரான் வெள்ளம்போல் வெளியேறுகின்றது. இதை 'குளிர் வெளியீடு' என்பார்கள். இது வெகு நேர்த்தியாக 'புழல் விளைவை' விளக்குகின்றது. 'புழல் விளைவு' ஒரு கற்பனையல்ல என்பதையும் விளக்குகின்றது.

அலை அணிக் கோவை

இயற்பியலில் தோற்றுவிக்கப்படும் சமன்பாடுகள் வெறும் விளையாட்டுக்காக அன்று. அவற்றுக்குத் தீர்வுகாண்பது முக்கியம். ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடு இதற்கு மாறானது அல்ல. சில சமன்பாடுகளைத் தீர்வு காணுதல் மிகச் சுலபமாக இருக்கும். வேறு சிலவற்றில் சிக்கல் அதிகமாக இருக்கும். ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடு இரண்டாவது வகையைச் சார்ந்தது. இது இரண்டாம் வரிசை வகைக்கெழுச் சமன்பாட்டைச் சார்ந்தது. இதைப்பற்றிய விரிவான விளக்கங்கள் இப் புத்தகத்தின் நோக்கிற்கு அப்பாற்பட்டவை. இடம், காலம் இவை யிரண்டிலும் மாற்றத்தையுடைய பொருளின் நிலையைக் காண்பிக்கும் சமன்பாடு என்றுமட்டும் இங்குக் கூறலாம்.

அளவு தெரியாத பண்புகள் வெவ்வேறு வகைகளில் இச் சமன்பாடுகளில் மறைந்துகிடக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு குடுவையிலுள்ள திரவத்தின் மேல்பரப்பு பரந்த வெளியில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் துணைக்கோளின் ஆயத்தொலைவுகள், பரப்பியிலிருந்து ஏற்பிக்குச் செல்லும் ரேடியோ அலைகளின் வலிமை, இயந்திரத்தால் இயக்கப்படும் கருவியின் வெட்டுவேகம் முதலியவை இச் சமன்பாட்டில் அடங்கியிருக்கலாம். இச் சமன்பாட்டின் தீர்வு நாம் தேடும் பண்புகளுக்கும் விஞ்ஞானிகளுக்கு கவர்ச்சியாகவுள்ள அளவுகளுக்கும் உள்ள பொருத்தத்தைக் காட்டும். இவ்விதப் பொருத்தங்களை விவரிக்க கணிதவியலில் அணிக் கோவை' என்ற வார்த்தையைப் பயன்படுத்துவர்.

ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டில் நமக்குத் தெரியாத பண்பை அலையணிக் கோவை ' என்று கூறலாம். இதை உபயோகித்து

ஆயிரக்கணக்கான சமன்பாடுகளை உண்டாக்கி விடை கண்டுபிடித்த போதிலும் 'அலையணிக் கோவை' என்பதைப்பற்றித் தெளிவான விளக்கம் இன்னும் கொடுக்கப்படவில்லை. இதுபற்றி அவர்களிடையில் இன்றும் சர்ச்சைகள் இருந்து கொண்டிருக்கின்றன. ஆனால், அலையணிக் கோவையின் இருமடி நிகழ்திறனைக் கொடுக்கும் என்ற ஒரு தனிப் பண்பைமட்டும் எல்லோரும் ஏற்றுக் கொள்கின்றனர். ஆயத்தூரத்தையும் நேரத்தையும் கொண்டு ஒரு பொருள் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் குறிப்பிட்ட இடத்திலிருப்பதற்கான நிகழ்திறனைக் கணக்கிட இக் கோவை பயன்படுகின்றது. தெளிவாகக் கூறினால், அலையணிக் கோவை ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் உண்டாக்கும் விளைவினால் அவ் விடத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்தில் பொருள் இருப்பதற்கான நிகழ்திறன் கிடைக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, அலையணிக் கோவை நாம் அளக்க உபயோகிக்கும் கருவியுடன் செயல் விளைவு உண்டு பண்ணுவதால் நிகழ்திறனைப் பெறலாம். எலெக்ட்ரானின் விளிம்பு விளைவுப் பரிசோதனையில் இந்த நிகழ்திறனைத்தான் 'நிகழ்திறன் அலை' என்று கூறினோம்.

ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டிற்குப் பொதுவான தீர்வு காண்பது மிகவும் கடினம். தெளிவான புதுமை கணிதவியல் முறைகளைக் கையாண்டாலும் இது சாத்தியமாகாது. ஆனால், இதன் தீர்வை சுலபமாக்கக்கூடிய பலதரப்பட்ட விளைவுகள் உள்ளன. நிலைப்புதிர் (stationary problem) என்று கூறப்படும் விளைவு இத் தீர்வைக் கண்டுபிடிக்க உதவுகின்றது. இதில் அலையணிக் கோவை ஒரு வடிவத்தை மையமாகக்கொண்டு ஊசலாடுகின்றது. ஆனால், வடிவம் காலத்தில் மாற்றமடைவதில்லை. இப்பேர்ப்பட்ட புதிர்கள் கண்டு செய்முறைகளைக் குறிக்காது. சாதாரண செய்முறைகளில் ஏதோ ஒன்று காலத்தை நோக்கியிருக்கும். காலத்தில் மாறும் நிலை புதிரானது செய்முறை நடக்கக்கூடிய தொகுதியின் அமைப்பைக் குறிக்கும் தன்மையுடையதாக இருக்கும். அடிப்படையமைப்பையும் எந்த நிலையில் உள்ளது என்றும் அறிந்தால் தான் நடைமுறையைப்பற்றிக் கூறமுடியும்.

நுண்துகள் உலகத்தில் உள்ள மூலங்கள் அணுக்கரு, அணு மூலக்கூறுகள், படிகங்கள் போன்றவற்றைக் கொண்டுள்ளன இவைகளெல்லாம் ஒரு நிலையான அமைப்புடையவைகள். இவற்றிற்கு முதலில் நிலை ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடு அமைக்கப்பட்டது. அவற்றிலிருந்து ஆர்வத்தை கொடுக்கும் சில முடிவுகள் வெளியிடப்பட்டன, அடுத்த அத்தியாயத்தில் அவற்றைப்பற்றி எடுத்துக் கொள்ளுவோம்.

அலைகள் குவான்டங்கள் இவற்றின் சேர்க்கை

குவான்டம் இயக்கவியலின் 'நிலைப்புதிர்கள்' மற்றுமொரு வியக்கத்தக்க பண்பைக் கொண்டுள்ளன. பொருளின் இருப்பிடம், திசை வேகம் இவற்றைத் தவிர பொருளின் மொத்த ஆற்றலுக்கும் நேரத்துக்கும் தெளிவில்லாமை விதி உண்டு. ஆற்றலை அளக்கு நேரம் அதிகமானால், பொருளின் ஆற்றலின் மதிப்பு துல்லியமாகக் கிடைக்கும் என்று ஹைசன்பர்க் சமன்பாடு கூறுகிறது. இவை களுக்குள்ள பொருத்தத்தைக் கொடுக்கும் சமன்பாடு வடிவம்

$$\Delta E \times \Delta t \geqslant h$$

(மறுபடியும் h க்கு பதில் $h/25$ உபயோகிக்க வேண்டியது என்று ஞாபகத்தில் கொள்க) இதில் ΔE என்பது ஆற்றல் E-ல் உள்ள தெளிவில்லாமை. Δt என்பது t என்ற நேரத்தின் தெளிவில்லாமை. t என்பது பொருளின் ஆற்றலைத் துல்லியமாக கணக்கிட உபயோகித்த ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தைக் காண்பிக்கிறது. இவற்றின் பெருக்கற்பலன் h-ப்ளாங்க் மாறிலியைவிடச் சிறியதாக இருக்க முடியாது என்பதை $\geqslant$ குறி காட்டுகின்றது.

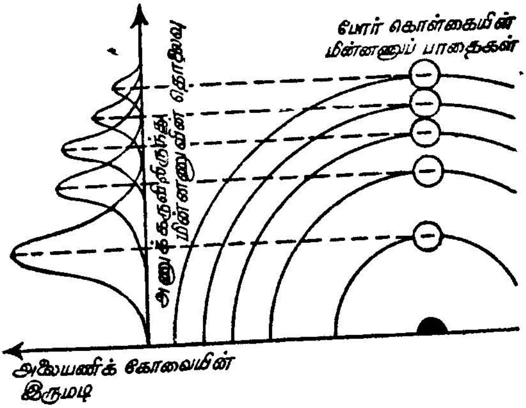
பொருளின் ஆற்றல் காலத்திற்கேற்ப மாறாமல் இருந்தால் அதை நிலையானது எனக் கூறுகின்றோம். அதை எக் காலத்திலும் அளந்தறியலாம். ஆகையால், காலத்தின் தெளிவில்லாமை எண்ணிலா மதிப்பைப் பெறுகின்றது $\Delta t = \infty$. ஆகையால் கணிதயியல்படி

$$\Delta E = \frac{h}{\Delta t} = \frac{h}{\infty} = 0$$

அதாவது, ஆற்றலை அளப்பதில் உள்ள தெளிவில்லாமை சுழி மதிப்பை அடைகின்றது. நிலையான நிலையில் இருக்கும்பொழுது பொருளின் ஆற்றலைச் சிறு பிழையில்லாமல் கணக்கிடமுடியும். இதுதான் முன்பு சுட்டிக்காட்டப்பட்டது.

ஆற்றலின் மதிப்பு ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டின் ஒரு முக்கியமான பகுதி ஆகும். (E) நேர்க்குறியுடன் இருக்கும்வரை (இது கட்டுபாடற்ற இயக்கத்திலிருக்கும் துகளின் ஆற்றலைக் கொடுக்கும்) ஆற்றலின் எம் மதிப்பிற்கும் மறையாத ஒரு தீர்வை ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டிலிருந்து பெறமுடியும். தீர்வின் இருமடியும் (நிகழ் திறன்) எல்லா E மதிப்பிற்கும் சுழியிலிருந்து மாறுபட்டிருக்கும். நடைமுறை பாஷையில் கூறினால், கட்டுப்பாடற்றத் துகளுக்கு எந்த அளவு ஆற்றலும் எந்தத் திசைவேகமும் இருக்கமுடியும். (இத் திசை வேகம் ஒளியின் திசைவேகத்தைவிட எப்பொழுதும் அதிக

மாக இருக்கமுடியாது.) பரந்த வெளியில் எவ் விடத்திலும் துகள் இருக்கமுடியும். E-ன்மதிப்பு எதிர்க்குறியானல் (இது துகளின் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட நிலையைக் காண்பிக்கின்றது. எடுத்துக் காட்டாக, குழியிலுள்ள பந்து அல்லது அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்) சமன்பாட்டின் தீர்வு முற்றிலும் மாறிவிடுகின்றது. E-ன் சில குறிப்பிட்ட மதிப்புகளுக்குமட்டும் மறைவதில்லை. E-ன் இந்த மதிப்புகள் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங்கள் எனப்படும்.



படம் 8

அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்ட நிலைகளைத் தவிர மற்ற இடங்களில் துகள் இருக்கையின் நிகழ்திறன் சுழிமதிப்பிற்கு வெகு பக்கத்திலுள்ளது. அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்ட நிலைகளின் நிகழ்திறன் நோக்கத்தக்க அளவு சுழிமதிப்பிலிருந்து மாறுபட்டுள்ளது. இம் மட்டங்களுக்குத் 'தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்கள்' என்று இயற்பியல் வல்லுநர்கள் பெயர் சூட்டியிருக்கின்றனர். போர் அணுமாதிரியில் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங்களைப்போல் இவைகளிருக்கின்றன. இரண்டும் ஒன்று என்றுகூடக் கூறலாம். போர் அணுமாதிரியின் எலெக்ட்ரான் வட்டப்பாதைகள் ஆற்றலைக் காண்பிக்கும் மட்டங்களாகும். இம் மட்டங்களில் எலெக்ட்ரான் இருக்கையின் நிகழ்திறன் சுழிமதிப்பிலிருந்து மாறுபட்டிருக்கும். போர் தன் அறிவுத் திறனல் இவை யெல்லாவற்றையும் ஊகித்தறிந்து எலெக்ட்ரானுக்கு வட்டப்பாதைகள் உண்டு என்று கூறினர். வட்டப்பாதைகளுக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் ஏனிருக்கவேண்டுமென்பதை நிரூபிக்கமுடியவில்லை. இவற்றிற்குத் தேவையான அடிப்படைகளைக் குவான்டம் இயக்கவியல் கொடுத்தது. போரின் இரண்டாவது தற்கோளுக்குத் தேவையான விளக்கத்தையும் குவான்டம் இயக்கவியலிலிருந்து பெறலாம்.

இந்த இரண்டாம் தற்கோள் எலெக்ட்ரானின் தாவலைப்பற்றிக் கூறுகின்றது. ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டின்படி அணுவின் எலெக்ட்ரான்கள் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங்களில்தான் இருக்க முடியும். ஆகையால், ஒரு மட்டத்திலிருந்து அடுத்த மட்டத்திற்கு எலெக்ட்ரான் தாவும்பொழுது ஆற்றல் மாறுபாடு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுதான் இருக்கமுடியும். எல்லாவித மதிப்புகளையும் பெறமுடியாது. வெளிவிடு ஆற்றலின் மதிப்பு, இரண்டு ஆற்றல் மட்டங்களுக்குள்ள வித்தியாசத்திற்குச் சமம். இவ் ஆற்றல் வித்தியாசம் ப்ளாங்க் ஆற்றல் குவான்டத்திற்குச் சமமாகும். இரண்டு முக்கியமான தற்கோள்களைக் குவான்டம் இயக்கவியல் ஒருங்கிணையச் செய்தது. ஆற்றல் குவான்டங்களைப்பற்றிய ப்ளாங்க் தற்கோளையும் மறுபக்கத்தில் பகுப்பொருள் அலைபற்றிய டி பிராலி கருத்தையும் ஒன்று சேர்த்து, இவற்றுக்கிடையேயுள்ள ஆழ்ந்த தொடர்பினையும் விளக்கிற்று. டி பிராலி அலையில்லாமல் ப்ளாங்க் குவான்டம் உபயோகமில்லை என்றுகூடக் கூறலாம்.

இரண்டு தனித்தனி ஓடைகள் ஒன்றுசேர்ந்து ஒரு பெரிய ஆறு உண்டாவதுபோல், இவ் விரண்டு தற்கோள்களும் ஒன்றுசேர்ந்து ஒரு புதிய அறிவியலையே உண்டாக்கின. நாம் இந்த புதிய வழி சென்று புதிய அறிவியற் கருத்துகளைக் காண்போம்.

அணுக்கள், மூலக்கூறுகள், படிகங்கள்

பாதைகளுக்குப் பதில் மேகங்கள்

இயற்பியலில் எந்தப் பகுதியும் குவான்டம் எந்திரவியல் போல் வேகமான வளர்ச்சி அடைந்தது இல்லை. டி பிராலி என்பவரின் எண்ணங்கள் தோன்றிய ஐந்து ஆண்டுகளுக்குள் குவான்டம் இயலின் கணித முறைகளும் விளக்க வழிகளும் நன்கு நிறுவப்பட்டு பல அரிய பயன் தரத்தக்க அறிவியல் முடிவுகள் கணக்கிடப்பட்டன. பண்டைய எந்திரவியல்கள் 200 ஆண்டு களில் அடைந்த முன்னேற்றத்தைக் குவான்டம் இயல் ஐந்தே ஆண்டுகளில் அடைந்தது. 1928-க்குள் குவான்டம் இயல் நன்கு நிலை நாட்டப்பட்டு முழு வளர்ச்சி அடைந்த ஓர் அறிவியல் துறையாக மிளிர்ந்தது. இவ் வளர்ச்சி 20ஆம் நூற்றாண்டின் வேகத்தையே காட்டுகிறது.

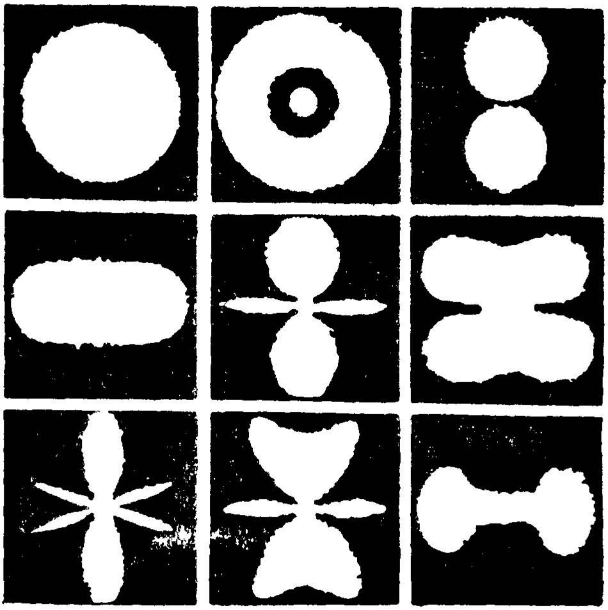
ஒரு பெரிய மலை அருவி அணையை உடைத்துக்கொண்டு கீழே சென்றபிறகு சமவெளியில் மெல்லப் பரவுவதுபோல, ஐந்து ஆண்டுகள் புரட்சிகரமான வளர்ச்சிக்குப் பிறகுக் குவான்டம் இயல் நிதானமாகப் பரவத் தொடங்கியது. இவ் வளர்ச்சி பல புதிய இயற்பாடுகளை ஆராய்ந்து நன்கு அமைந்தது.

குவான்டம் இயலின் முதல் வெற்றி அணுவைப் பற்றியது. இந்தப் புது இயற்பியல் பிளாங்க், போர் என்பவர்களால் துவக்கப் பட்டது. போர் என்பவர் அணுவில் மின் அணுக்கள் குறிப்பிட்டப் பாதைகளில் சுற்றுகின்றன என்று அறிவித்தார். அணுவில் எலெக்ட் ரானின் இயக்கத்தின் எரிபொருள் பாதையே, எலெக்ட்ரானின் பாதை எனப்படும்.

குவான்டம் இயல், பாதைகள் என்ற கருத்திற்கு மாறானது. மிகச் சிறு துகள்கள் உலகில் பாதைகளுக்கு இடமில்லை என்று அது கூறுகிறது.

பாதைகளுக்கு பதில் வேறு என்ன? அணுவில் எலெக்ட்ரான் ஓரிடத்தில் இருக்கலாம் என்பதன் நிகழ்திறன் என்பதே. ஓர் அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரானின் மொத்த ஆற்றல் அணுக்கருவி லிருந்து எலெக்ட்ரானுக்குள்ள தொலேவைப் பொருத்தது என்பது முன்னமே நமக்குத் தெரியும். அணுக்கருவிலிருந்து குறிப்பிட்ட தொலேவுகளுக்கேற்ப, குறிப்பிட்ட ஆற்றல்கள் கிடைக்கின்றன.

ஓர் அணுவை உறுவகப்படுத்த எலெக்ட்ரான் பாதைகள் பயனுள்ளவைதான். ஆனல், அப் பாதைகளே எளிதில் நம்மால் கைவிட முடியவில்லே. ஆனல், குவான்டம் இயல் கூறுவது என்ன வென்றுல் பாதைகள் வேண்டுமென்றுல் இருக்கட்டும். குறிப் பிட்ட ஆற்றல் உடைய எலெக்ட்ரான் இருக்கக்கூடிய அதிக நிகழ்



படம் 9

திறன் உள்ள புள்ளிகளேச் சேர்த்து ஒரு கோடு வரைந்துகொள். அக் கோட்டை எலெக்ட்ரானின் பாதை எனலாம். ஆனல், எலெக்ட்ரான் ஒரு புள்ளியல்ல என்பதை மறக்கக்கூடாது. அதனுடைய அலேயே அது இருக்கும் இடத்தை ஒரு பூச்சாக மெழுகிவிடுகிறது. பாதை என்பது ஒரு கற்பனேதான்.

இந்தப் பாதைகளின் முக்கியம் என்னவென்றுல் எலெக்ட் ரானின் டி பிராலி அலேகள் முழு எண்ணிக்கையாக அவற்றில்

பொருந்துகின்றன. அணுக்கருவுக்கு அருகில் உள்ளதில் ஓர் அலையும் அதற்கு அருகில் உள்ள பாதையில் இரண்டு அலைகளும் மூன்ருவதில் மூன்று அலைகளும் அடங்குவதாக எண்ணலாம். உண்மையில் இது ஆர்வமூட்டுவதாக உள்ளது. டி பிராலி அலை களின் கொள்கைக்கு இதை ஒரு சான்ருக எடுத்துக்கொள்ளலாம்.

ஆனுல், அப் பாதைகள் உண்மையில் இல்லை என்பதைக் கருத்தில் கொள்ள வேண்டும் என்று குவான்டம் இயலார் கூறுகின்ருர். எலெக்ட்ரான் பாதையைத் தவிர்த்து அதன் நிகழ்திறன் மேகத்தை உருவகப்படுத்திப் பாருங்கள் என்று அவர்கள் கூறுகின்றனர். ஓர் எலெக்ட்ரான் இங்குதான் இருக்கக்கூடும் என்ருல் அங்கு நிகழ்திறன் மேகம் சற்று அடர்த்தியாகவும் மற்ற இடத்தில் அடர்த்தி குறைந்தும் இருக்கும்.

'படத்தில் ஒரு வகை புகையைக்கொண்டு வரையப்பட்ட நிகழ்திறன் மேகங்களின் மாதிரிகளைக் காணலாம். இப் படங்களில் ஓர் அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான் மேகங்களின் பல உருவங்களைப் பார்க்கலாம். அவை உருண்டை வடிவத்திலும், நீண்ட உருண்டை வடிவத்திலும், சுருட்டு வடிவத்திலும் இருப்பதைப் பார்க்கலாம்.

இவற்றிலிருந்து ஓர் அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் அணுக்கருவிலிருந்து அதன் தொலைவைமட்டும் சார்ந்தது அல்ல என்று தெரிகிறது. மிகச் சிறிய இலேசான ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள ஒரே எலெக்ட்ரானுக்கும் இது பொருந்தும். ஹைட்ரஜன் அணுவில் எதிர் மின்னூட்டம் உள்ள இரு துகள் களுக்கும் இடையே இடையீட்டுச் செயல் நிகழ்கிறது. இதை கூலோம் விதியால் விளக்கலாம். இடையீட்டு விளைவின் ஆற்றல் எலெக்ட்ரான், அணுக்கரு இவற்றின் இடையே உள்ள தொலை வையே சார்ந்தது.

எனவே ஹைட்ரஜனின், எலெக்ட்ரான் நிகழ்திறன் மேகம் உருண்டையாக இருக்கிறது. உருண்டையான பரப்பிலுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளும் அணுக்கருவிலிருந்து சமதொலைவிலுள்ளன. எனவே, எலெக்ட்ரான் மேகத்தில் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் எலெக்ட் ரான் ஆற்றல் ஒன்ருகவே இருக்கும்.

ஓர் அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக் கூடினுல் அவற்றிற்கிடையேயும், அவற்றிற்கும், அணுக்கருவுக்குமிடை யேயும் ஏற்படும் இடையீட்டு விளைவுகள் சிக்கல்களை உண்டாக்கு கின்றன. இருந்தாலும் எல்லா எலெக்ட்ரான்களும், அணுக் கருவால் ஈர்க்கப்படுதல் முக்கியமானதாகும்.

இயற்கை அறிவுக் கூர்மையுடன் அணுக்களின் குடும்பங்களில் ஒழுங்கு நிலவுமாறு செய்கிறது. எத்தகைய ஒழுங்கு என்பதை படங்களில் காணலாம். எலெக்ட்ரானின் 'நிகழ்திறன் மேகங்கள்' ஒன்றையொன்று ஊடுருவி இருப்பதைக் காணலாம். படத்தின் பகுதிகளை வர்ணங்கள் தீட்டி மூன்றுப் பரிமாணங்களும் உடையதாக மாற்றினுல் அதன் உருவம் நாம் கண்டு வியக்கத் தக்கதாக இருக்கும்.

பல மாருத வகைகளினிடையே மாறுதலற்றத் தன்மை

பார்ப்பதற்கு மகிழ்ச்சி அளித்தாலும் எலெக்ட்ரான்களின் மேகங்கள் எங்குத் துவங்கி எங்கு முடிகின்றன என்று கணக்கிடுவது எளிதல்ல.

அணுவின் அதிசயத்தக்க அமைப்புகள் எப்படி கட்டப்படுகின்றன என்பதனைக் காண்போம்.

இயற்கையின் கட்டடப் பொருள்கள் எலெக்ட்ரான்களும் அணுக்கருக்களுமாகும். இவற்றை ஒட்டிவைப்பது இவற்றினிடையே உள்ள ஈர்ப்புவிசை ஆகும். இயற்கையின் தொழிற்சாலைகள் நம் கவனத்தை முதலில் ஈர்ப்பது, மண்டலீஃப் என்பவரின் தனிமங்களின் அட்டவணை. இன்றுவரை நாம் அறிந்த 104 வேதியியல் தனிமங்கள் அட்டவணையின் நூற்றுநான்கு சதுரங்களில் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன.

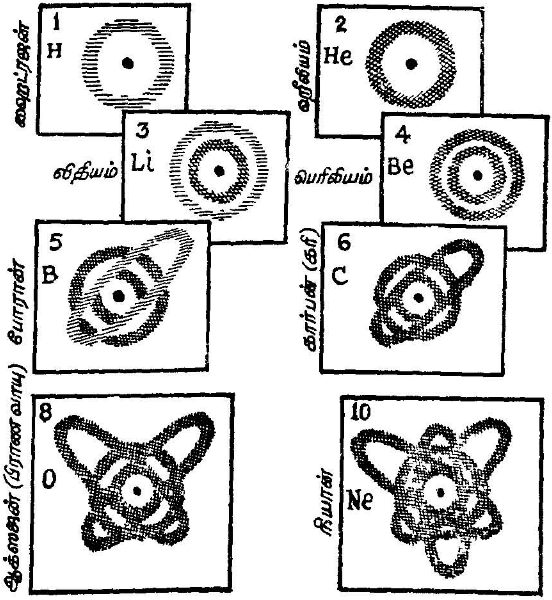
அணுக்கட்டட சிற்பி செங்கற்களை அணுவில் எப்படி அடுக்குகிறுன் என்பதனை முதலில் பார்ப்போம். இந்தக் கட்டட ஒழுங்கின் அடிப்படைக்கொள்கையை 'உல்ப்காங் பெளலி' என்ற ஆஸ்திரிய இயல்பியலார் குவான்டம் இயலின் வளர்ச்சியின் முதல் சில ஆண்டுகளிலேயே கண்டுபிடித்தார். பெளலியின் கொள்கை என்ற பெயரில் அது கூறப்பட்டு வருகிறது.

அணுக்களுக்கு மட்டுமின்றி சிறு துகள்களின் கூட்டங்களுக்கும் பொருத்தமான அந்தக் கொள்கை, ஓர் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றலுடன் ஒரு துகள்தான் இருக்கமுடியும் எனக் கூறுகிறது. பிற்காலத்தில் இக் கொள்கை ஒரு சில துகள்களுக்குப் பொருந்தாது எனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஆனுல், எலெக்ட்ரான்கள் எத்தைகையக் கூட்டங்களாக இருந்தாலும் இக் கொள்கைக்கு உட்பட்டே இருக்கின்றன.

இன்னும் விளங்காத மற்றோர் அதிசயம்

எலெக்ட்ரானின் சுழற்சி என்ற முற்றிலும் வேறான ஒரு தன்மையைப்பற்றிக் காண்போம். சுழற்சி என்பதைப் பழங் கருத்துகளைக் கொண்டு அறிய இயலாது. இது என்ன என்பதனைப்பற்றிப் பின்னர் காண்போம். முதலில் சுழற்சியைக்கண்டு பிடித்தவர்கள் அது தன்னைத்தானே சுற்றிக்கொள்ளும் இயக்கமென்று எளிதாகக் கூறினர். உலகம் சூரியனைச் சுற்றிவந்து தன்னைத்தானே சுற்றிக் கொள்கிறது. எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவைச் சுற்றி வந்து தன்னைத் தானே சுற்றிக்கொள்கிறது.

ஆனால், ஓர் அணுவில் எலெக்ட்ரானின் இயக்கம் மிகச் சிக்கலானது. குவான்டம் இயலில் எலெக்ட்ரான் ஒரு கோளமாக



படம் 10

அல்லாமல் ஒரு புள்ளி எனக் கருதப்படுவதால்[1] அதற்கு ஓர் அச்சு இருக்கிறது என்பது அர்த்தமற்றதாகிறது. மேலும், ஒரு புள்ளியின் புள்ளிபற்றிய அல்லது புள்ளிமீதுள்ள சுழற்சி முடியாதவொன்று.

[1] இக் கருத்தும் முற்றிலும் சரியானதல்ல. அடுத்தப் பகுதியில் இதைவிடச் சிறந்த விளக்கம் தரப்பட்டுள்ளது.

சுழற்சி என்ன என்பதை உருவகப்படுத்தமுடியாத நிலையில் அகப்பட்டிருக்கிறோம். துகள் அலை, அலைத்துகள் என்பவை பற்றியும் நாம் சரியாகப் புரிந்துகொள்ளவில்லை. சுழற்சி என்பது ஓர் எலெக்ட்ரானின் இயக்கத்துடன் இணைந்த தனிப்பண்பு ஆகும். ஓர் எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவின் அருகில் இருந்தாலும் தொலைவில் இருந்தாலும் தனித்து இருந்தாலும் அதன் சுழற்சியின் மதிப்பு ஒன்றேதான்.

அணுக்கருவைச் சுற்றி வருவதால் ஏற்படும் எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தத்துடன் இச் சுழற்சியைக் கூட்டவோ, அல்லது அதிலிருந்து சுழிக்கவோமுடியும் என்பது தெரிகிறது. வேறு எவ் வகையிலும் மாறுபடாத ஆனால், எதிர்வகையான எலெக்ட்ரான் இயக்கங்களை இவ்வாறு விவரிக்கிறோம். வெளி விசைகளால் பாதிக்கப்படாத நிலையில் இவ் விருவகை இயக்கங்களில் ஆற்றல்கள் ஒன்றே என்பதுதான் இதன் பொருள்.

இதன் விளைவு ஓர் அணுவில் ஒரே அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றலில் எதிர்த்திசைச் சுழற்சிகளுடன் இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கலாம் என்பது.

தன் பணியில் ஓர் அணுச் சிற்பி

இப்பொழுது அணுச்சிற்பியின் தொழிற் கூடத்தைக் கூர்ந்து கவனிப்போம். பத்து எண்ணுள்ள படத்தில் இருக்கும் வடிவங்களை ஒவ்வொன்ருகப் பார்ப்போம்.

முதல் வடிவம்: ஹைட்ரஜன் அணு எவ்வளவோ நூற்ருண்டுகளுக்குப்பின் எவ்வளவு எளிதான அமைப்புடையது என்பதைக் காண்கிறோம்.

இரண்டாவது வடிவம்: ஹீலியம் அணு இரண்டு எலெக்ட்ரான் மேகம் இரு மடங்கு அடர்த்தியுடனும் அணுக்கருவிற்குச் சற்று நெருங்கியும் காணப்படுகிறது. ஹைட்ரஜனின் ஓர் எலெக்ட்ரானுக்குப் பதில் இதில் இரண்டு ‘எலெக்ட்ரான்கள்’ உள்ளன. நம் கவனத்தை ஈர்க்கும் அளவுக்கு வேறு ஒன்றும் இல்லை.

மூன்ருவது வடிவத்தில் லித்தியம் அணுவினைக் காண்கிறோம். இவ் அணுக்கருவைச் சுற்றி இரண்டாவது உருண்டை வடிவ எலெக்ட்ரான் மேகம் அமைந்திருப்பதைப் பார்க்கிறோம். பௌலி என்பாரின் கொள்கைப்படி மூன்ருவது எலெக்ட்ரானுக்கு முதலிரண்டு ஆற்றல் நிலையில் இடம் இல்லை.

அடுத்து வரும் பெரிலியம் அணுவில் இரண்டாவது அடுக்கில் இரண்டாவது எலெக்ட்ரான் இடம் ஏற்பதைப்பார்க்கிறோம்.

இத்தகைய அணுக்கட்டட வேலை போரானின் அமைப்பில் சற்றுக் கடினமாவதைக் காண்கிறோம். மற்ற எலெக்ட்ரான் களுடன் மோதாமல் ஐந்தாவது எலெக்ட்ரானுக்கு இடமளிப்பது எளிதல்ல என்பது தெரிகிறது.

முதலிரண்டு அடுக்குகளையும் துளைத்துக்கொண்டு செங்குத் தான புதுமாதிரியான அடுக்கில் ஐந்தாவது எலெக்ட்ரான் வைக்கப் பட்டிருப்பதைப் பார்க்கலாம். அடுத்தக் கார்பன் அணுவின் அமைப்பும் இம்மாதிரியே உள்ளது.

அடுத்து வரையப்பட்டுள்ள இரண்டு வடிவங்களிலும் இம் மாதிரியே இரண்டு புதிய அடுக்குகள் 120° கோணங்களில் இருக் கின்றன. ஒன்றையொன்று எதிர்த்துத்தள்ளும் எலெக்ட்ரான்களை இவ்வாறு அமைதியாக ஒரே அணுக்கூட்டில் இருக்குமாறு இயற்கை அமைப்புகளை ஏற்படுத்தியிருக்கிறது. இதைவிட உகந்த முறையில் ஆற்றல்களை நிறுவ இயலாது. இந்த அமைப்பின் அடிப் படைக் கொள்கை எலெக்ட்ரான்களின் மொத்த ஆற்றல் மிகக் குறைந்த அளவாகயிருந்து, அணு உறுதியான சமநிலையிலிருக்கச் செய்வது இயற்கையில் எந்த அமைப்பும் உறுதியான நிலையில் இருப்பதற்கு ஓர் அமைப்பின் நிலை ஆற்றல் மிகக்குறைந்த அளவி லிருக்கவேண்டும். குறைந்த ஆற்றல் மட்டுமல்லாமல் அணுக் கட்டட அமைப்பு நிலையாக இருக்க வேறு சில விநோதமான உட் பிரிவுகளும் உள்ளன.

கிறுக்கான அணுக்கள்

இதுவரை அணுக்கட்டடங்களுக்கு, அவசியமான பௌலி கொள்கையைப்பற்றியும் சிறும ஆற்றலைப்பற்றியும் பார்த்தோம்.

எலெக்ட்ரான்களின் அலைப்பண்பு எப்படி வெளிப்படுகின்றது. எலெக்ட்ரான் பாதைகளுக்குப் பதில் எலெக்ட்ரான் நிகழ்திறன் மேகங்கள் இடம் பெறுகின்றன. அது மட்டுமல்ல. ஓர் அணுவில் உள்ள டி பிராலி அலைகள் அணு அமைப்பில் கொள்ளும் அளவை நிர்ணயிக்கின்றன.

எலெக்ட்ரான் மேகங்களின் முக்கியமான பண்பு அதனுள் முழு எண்ணிக்கை உள்ள டி பிராலி அலைகளே இருக்கமுடியு மென்பது இந்த எண் எலெக்ட்ரான் பாதையின் எண்ணையும் ஒரே எண்ணிக்கை உள்ள எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட மேகங் களின் அடர்த்தியையும் நிர்ணயிக்கும்.

இத்தகைய எலெக்ட்ரான் மேகத்திற்கு இயற்பியலார் ஓ ஓடு (shell) என்ற பெயரினைத் தந்தனர். குவாண்டம் இயல் இந் ஓட்டின் எண்ணிற்கும் இந்த ஓடு ஏற்றுக் கொள்ளக்கூடிய எலெக்ட ரான்களுக்கும் உள்ள உறவை

$$N = 2n^2$$

எனக் காட்டிற்று.

இதன்படி $n=1$ என்று K ஓட்டில் (2×1^2) இரண்டு எலெக்ட் ரான்களும் $n=2$ என்ற L ஓட்டில் (2×2^2) எட்டு எலெக்ட் ரான்களும் M என்ற மூன்றும் ஓட்டில் (2×3^2) 18 எலெக்ட்ரான் களும் இருக்கமுடியும். முதல் 'K' ஓடு இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் கொள்ளத்தக்க மிகச்சிறிய ஓடாகும். ஹீலியம் அணுவில் இது முழுவதும் நிறப்பப்பட்டுவிட்டது. அடுத்த ஓடு, சிக்கலான அமைப்பு கொண்டது. ஓர் அணுவின் இரண்டாவது மாடி மட்டும் அல்லாமல் மூன்று ஊடுருவிச் செல்லும் அடுக்குகளையும் தன்னுள் அடக்கிக் கொண்டிருக்கிறது. தனிமங்களின் அட்ட வணையில் பத்தாவது கட்டத்திலுள்ள அணுவான நியான் அணுவில்தான் இந்த ஓடு நிரப்பப்படுகிறது.

மூன்றுவது ஓடு பதினெட்டு எலெக்ட்ரான்களை ஏற்கக்கூடும். பதினெட்டாவது அணுவான ஆர்கான்வரை முன்பு கண்டது போலவே இந்த ஓடு நிரப்பப்பட்டு வருகிறது.

அடுத்த அணுவான பொட்டாசியம் என்ற அணுவில் இந்த வரிசை சீர்குலைகிறது.

அடுத்து ஊடுருவிச் செல்லும் மாடிகள் நிரப்பப்படும்பொழுது எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் மதிப்பு குறைவாயிருக்குமாறு நிரப்பப் படுகிறது. எலெக்ட்ரான்கள் ஒன்றை ஒன்று தள்ளுவதால் ஏற் படும் நிலைஆற்றல் அவ் வணுக்களில் குறைவாக இருக்கும். ஸ்கான்டியத்திலிருந்து (21) செம்பு (29) வரையுள்ள 9 அணுக் களில் எலெக்ட்ரான்கள் நீளமான குறுகலான ஓடுகளில் வைக்கப் படுகின்றன. மேலோடு நிரம்பி உள்ளோடு காலியாகவுள்ளன.

சரியாகக் கணக்கிட்டால் இருபத்தெட்டாவது அணுவான ிக்கலுடன் மூன்றுவது ஓடு முழுமையாக நிரப்பப்படவேண்டும். பூனல், இது முடிவதற்குள் அடுத்த ஓட்டில் எலெக்ட்ரான்கள் வக்கப்படுகின்றன. ஆதலால் முப்பதாவது அணுவான ஃசிங்க் துத்தநாகம்) அணுவில்தான் மூன்றுவது ஓடு நிரம்புகிறது. மலோடு நிரம்பி உள்ளோட்டில் காலியாக உள்ள அணுக்கள் ரணிய அணுக்கள் எனப்படும்.

இத்தகைய நிலையினை அடுத்துவரும் நான்காவது, ஐந்தாவது ஓடுகளும் நிரம்பப்படும்பொழுது பார்க்கலாம்.

இந் நிலை ஒழுங்கின்மையைக் காட்டினாலும் ஆற்றலைப் பொறுத்தவரையில் உகந்த ஏற்பாடு என்றே தெரிகிறது.

அலை விதிக்கு விதிவிலக்குகள் இருப்பதன் அவசியமும் தெரிகிறது.

அணுக்களும் வேதியியலும்

தனிம அட்டவணையைக் கூர்ந்து நோக்கிவிட்டு அணுச் சிற்பியின், தொழிற்பட்டறையிலிருந்து நாம் விடைபெறலாம்.

முதல் ஏழு பிரிவுகளில், முதல் பிரிவில் இரண்டும் (2), இரண்டாவதில் எட்டும் (8) மூன்றாவதில் எட்டும் (8) நான்காவதிலும் ஐந்தாவதிலும் பதினெட்டும் (18) ஆறாவதில் முப்பத்திரண்டும் (32) ஏழாவதில் பதினேழும் (17) ஆக அணுக்களடுக்கப்பட்டு இருக்கின்றன.

அணுவின் எலெக்ட்ரான் ஓடுகளின் கொள்திறன்களை மறுமுறை பார்ப்போம். அவை, 2, 8, 18, 32 என்ற தொடரெண்கள். அட்டவணையிலும் அதே எண்களைக் காண்கிறோம். ஆனால், ஒரு சில எண்கள் இரு முறை வருகின்றன. (2, 8, 8, 18, 18, 32)

எலெக்ட்ரான்கள் அடைபட்டுக்கொண்டுவரும் வரிசையில் முறிவுகள் இருப்பதே இதற்குக் காரணமெனத் தெரிகிறது. மூன்றாம் பிரிவு ஆர்கான் என்ற 18-வது அணுவில் முடிகிறது. 28-வது அணுவான நிக்கலில் முடியவில்லை.

இதுமாதிரி மாற்றங்களைக் கடைசிவரை பார்க்கலாம்.

அட்டவணையிலுள்ள பிரிவுகளுக்கும் எலெக்ட்ரான் ஓடுகளின் கொள் திறனுக்கும் முழு ஒற்றுமை இல்லை என்பது தெரிகிறது. ஆனால், அட்டவணைப் பிரிவில் உள்ள அணுக்கள் அதன் ஒப்புமை ஓடுகளின் கொள்திறனைவிட எப் பிரிவுகளிலும் அதிகமாக இல்லை. இவ் வகையில் தனிம அட்டவணையின் முக்கியப் பண்பைக் குவான்டம் இயல் நன்கு விளக்குகிறது.

அட்டவணையில் ஒன்று முதல் எட்டுவரை உள்ள தொகுப்புக்களையும், பிறகு 0 தொகுப்பையும் பார்க்கிறோம். வேதியியலில் இதை இணைதிறன் எனக் கூறுவார்கள். இப்படிக் கூறுவது முற்றிலும் சரியில்லை. ஏனெனில், இணைதிறன் என்பது ஃப்ளோரின்

அல்லது ஹைடிரஜன் என்பதைச் சார்ந்து கூறப்படுவது, இணை திறன் என்பது பள்ளி வேதியியலில் கற்பிக்கப்படுவது. தற்போது கொள்கை வேதியியல்படி அணுத்தொகுப்பின் எண்கள் எலெக்ட்ரான் ஓடுகளில் வெளிச்சுற்றில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களைக் குறிக்கும். கடைசி இரண்டு பத்திகளைத்தவிர இவ் வரையறையின்படி தொகுப்பின் எண்ணும் இணைதிறனும் ஒன்றுகிறது.

ஓர் எலெக்ட்ரான் ஓட்டின் வெளிச்சுற்றில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் எண், எட்டுக்கு மேற்படுவதில்லை. எலெக்ட்ரான்கள் எப்படி அடுக்கப்படுகின்றன என்பதைப்பார்த்தால் இதன் பதில் கிடைக்கும். மூன்றுவது ஓட்டில் கொள்திறன் 18 இருந்த போதிலும் எட்டு எலெக்ட்ரான்கள் நிரம்பினதும் ஆர்கானுடன் முடிந்துவிடுகிறது. பிறகு நான்காவது ஓட்டில் எலெக்ட்ரான்கள் நிரப்பப்படுகின்றன. ஓர் ஓட்டின் வெளிச்சுற்றில் எட்டு எலெக்ட்ரான்கள் நிரப்பப்பட்ட பிறகு மேலும் எலெக்ட்ரான்களைச் சேர்ப்பதில் பயனில்லை. வேறுபுதிய ஓடு ஆரம்பமாகிறது. முழுதும் நிரம்பாத ஓடு உள் ஓடு ஆகிறது. ஓர் ஓடு முழுமையாக நிரம்புகின்றதா என்பது முக்கியம் அல்ல. அதன் வெளிச்சுற்றில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களே அணுவின் வேதியியல் பண்புகளை நிர்ணயிக்கின்றன.

எட்டு விதமான வேதியியல் பண்புகள் அணுக்களில் காணப்படுகின்றன என்பது இப்பொழுது தெளிவாகிறது. எட்டு எலெக்ட்ரான் நிறைந்த ஓட்டின் நிலையாற்றல் மற்ற அமைப்புகளைவிட மிகக்குறைந்தது என்பதை நினைவுப்படுத்திக் கொள்ளவேண்டும். அத்தகைய அணுவேதியலில் நிலையான அணுவாகும். செயலற்றதாக இருந்து மற்ற அணுக்களுடன் சேராததால் அவற்றை உயர்தர அணுக்கள் என்பார்கள்.

தனிம அட்டவணையின் கடைசி பத்தியில் இவை உள்ளன. மற்ற பாமர அணுக்களும் உயர்தர அணுக்களைப்போல் இருக்க வெளிச்சுற்றில் எட்டு எலெக்ட்ரான்களைச் சேர்த்துக்கொள்ள முயல்கின்றன.

அதனுல் எப்பொழுதும் தகுந்த அணுக்களுடன் கூட்டுச்சேர முயன்று கொண்டே இருக்கின்றன. வேதியியலில் இத் தன்மையை எதிர்வினைப்பண்பு (reaction) என்பார்கள். உண்மையில் நடப்பது ஓர் அணு மற்ற அணுவுக்குச் செய்யும் தியாகம் எனக்கூட கூறலாம். நியான் அணுவிற்குப் பிறகுதான் அநேகமாக இத்தகைய செயலைக் காண்கிறோம். எடுத்துக்காட்டாக, சோடியம் அணு மூன்றுவது ஓட்டில் உள்ள ஓர் எலெக்ட்ரானைக் குளோரினுக்குக் கொடுக்கிறது.

குளோரின் அணுவில் வெளிச்சுற்றில் உள்ள ஏழு எலெக்ட்ரான்களுடன் இது எட்டாவதாகச் சேர்ந்துகொள்கிறது. சோடியம் குளோரைடு என்ற நிலையான மூலக்கூறு இச் சேர்க்கையால் ஏற்படுகிறது.

சோடியம் ஓர் எலெக்ட்ரானை இழந்தாலும் நன்மை அடைகிறது. மீதியுள்ள எட்டு எலெக்ட்ரான்களுடன் நியான் அணுவின் அமைப்புடன் உயர்ந்தரக அணுபோல் ஆகிறது. இந்த எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தில் இரண்டு சாதாரண அணுக்கள் உயர்குடி அணுக்களாக மாறிவிடுகின்றன.

அணுக்களை கொடுப்பவை வாங்குபவை என இரு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். ஓட்டின் வெளிச் சுற்றில் நான்கு எலெக்ட்ரான்களுக்குக் குறைவாக இருந்தால் அணு இழக்கும் வகையினதாகும். வெளிச்சுற்றில் நான்குக்குமேல் எண் உள்ள எலெக்ட்ரான்களாக இருந்தால் அந்த அணு ஏற்கும் அல்லது எடுத்துக்கொள்ளும் வகையைச் சார்ந்தது. ஆறு எலெக்ட்ரான்களைக் கொடுப்பதைவிட இரண்டு எலெக்ட்ரான்களை ஏற்றுக்கொள்வது இயற்கையிலேயே எளிதானது. ஆக்ஸிஜன் அணுவில் இந்நிலையினைக் காணலாம்.

அட்டவணையின் நான்காவது தொகுப்பில் நான்கு எலெக்ட்ரான்கள் வெளிச்சுற்றில் கொண்ட சோம்பேறி அணுக்களைப் பார்க்கிறோம். இவைகள் இரண்டுவகையிலும் சேர்ந்தவை எனலாம். அவைகள் எந்தவிதமான வேதியியல் பண்புகளையும் காட்டும் தன்மையுடையவை.

எட்டாவது தொகுப்பில் கிறுக்குப் பண்புள்ள அணுக்களைப் பார்க்கிறோம். ஒன்று இரண்டு எலெக்ட்ரான்களையே வெளிச்சுற்றில் கொண்டுள்ள அந்த அணுக்களுக்கு எட்டாவது தொகுப்பில் இடமில்லை எனக் கூறலாம். ஆனால், அவைகளின் வெளிச்சுற்றில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களை உட்புறம் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் விவரிக்கமுடியாத வகையில் பாதிப்பதால் அந்த அணுக்கள் எதிர்பாராத வகைகளில் நடந்து கொள்கின்றன. அவற்றில் இணைதிறன் ஒன்று அன்று. பல மதிப்புக்களைக் கொண்டது. மிக உயர்ந்த இணைதிறன் அவைகளில் காணப்படுவதால் எட்டாவது வகையில் உள்ளன. ஓர் அணு நான்கு ஆக்ஸிஜன் அணுக்களுடன் இணைந்து கொள்ளும் திறன் உள்ளது. எட்டாவது தொகுப்பில் உள்ளவைகளைப்போலவே வேறு சில சதுரங்களில் உள்ள அணுக்களும் இத்தகைய கிறுக்குப் பண்புகளைக் காட்டுகின்றன.

அணுவின் அமைப்பைப்பற்றி எவரும் ஒன்றும் அறியாத காலத்திலேயே மண்டலீவ் அணுக்களை அட்டவணைப்படுத்தினர்.

அதனுல் அந்த அட்டவணையிலிருந்து பல அணுக்களின் முரண்பாடான பண்பினை விளக்க முடியாது. இத்தகைய அணுக் களின் பண்புகளை இன்னும் முற்றும் அறியாத காரணத்தால் அட்டவணையை மாற்றி யமைக்க அறிவியலார் முற்படவில்லை.

நிறமாலையின் பிறப்பு

குவான்டம் இயலின் அடிப்படையில் அணுவிலிருந்து நிறமாலை வெளியாவதை 'போர் கொள்கை' விளக்கிற்று. ஆனுல், அக் கொள்கையில் நிறமாலையின் விதிகள் சரிவர விளக்கமாகத் தரப்படவில்லை. குவான்டம் இயலில்தான் முழு விவரங்களையும் பார்க்கிருேம். நிறமாலை எப்படி ஏற்படுகிறது என்பதில் குவான்டம் இயலுக்கும், போர் என்பவரின் கொள்கைக்கும் அடிப்படையில் ஒற்றுமை இருக்கிறது. அணுவில் உள்ள எலெக்ட் ரான்கள் ஓர் ஆற்றல் நிலையிலிருந்து மற்ருெரு ஆற்றல் நிலைக் குத் தாவும்பொழுது குறிப்பிட்ட மின்காந்த ஆற்றல் உள்ள ஒரு 'ஃபோட்டான்' வெளியாகிறது. இந்த எளிய விளக்கம்மட்டும் போதாது.

எங்கிருந்து எங்கு எலெக்ட்ரான் தாவுகிறது. ஒரு பாதையி லிருந்து மற்ருென்றுக்கு மாறுகிறது எனலாம். ஆற்றல் குறைந் தால் ஒரு ஃபோட்டான் வெளியாகிறது. ஆற்றல் அதிகரித்தால் ஒரு ஃபோட்டான் அல்லது குறிப்பிட்ட ஆற்றல் உள்ள குவான்டம் வேறு புலத்திலிருந்து அணுவால் ஏற்கப்படுகிறது.

குவான்டம் இயல் எலெக்ட்ரான் பாதைகளுக்குப் பதில் எலெக்ட்ரான் மேகங்களைப் புகுத்தியது. எலெக்ட்ரான் நிலை மாற்றங்களை இப்பொழுது அவ்வளவு எளிதாக உருவகப்படுத்த முடியாது. எலெக்ட்ரான் மேகத்தின் அமைப்பும் தோற்றமும் ஒரே கணத்தில் மாறுதல் அடைவதாக எண்ணலாம். ஓர் உருண்டை உருவுள்ள அணு ஃபோட்டான் ஏற்பு அல்லது இழப் பினுல் அதிர்ச்சி அடைந்து புது உருவம் பெறுகிறது எனக் கூறலாம்.

குவான்டம் எந்திரவியல் இத்தகைய உருவக விளக்கத்தைத் தவிர்த்து நிகழ்திறன் என்ற புதுப்பண்பை பயன்படுத்த துவங்கியது. போர்க் கொள்கையில் எலெக்ட்ரான் பாதை ஒன்றிலிருந்து மற்ருென்றிற்கு குதிப்பது எப்பொழுது இயலும். ஆனுல், இம் மாறுதலின் நிகழ்திறனை அக் கொள்கையால் பாதையுடன் இணைக்க முடியவில்லை. குவான்டம் எந்திரவியல் எலெக்ட்ரான் மாற்றங்களின் நிகழ்திறன் மாற்றம் ஏற்படுவதன் முன்பும் பிறகும் உள்ள எலெக்ட்ரான் மேகங்களின் அமைப்பைப் பொறுத்தது என்று கூறுகிறது. இந் நிலையில் ஒன்றை ஒன்று ஊடுருவி உள்ள மேகங்

களுக்கு இடையே எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தின் நிகழ்திறன் அதிகம் எனலாம்.

இதைவிளக்க ஓர் உவமானத்தைப் பார்க்கலாம். ஓர் இரயில் வண்டியில் செல்லும் பிரயாணி மற்ருெரு நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் இரயில் வண்டிக்கு மாற வேண்டுமானுல் இரண்டு வண்டிகளும் நீண்ட வண்டிகளாக ஒன்றின் பக்கத்தில் ஒன்ருகச் சென்று கொண்டிருக்கவேண்டும். பிரயாணி தாண்டுவதற்கு வேண்டிய ஆற்றல் பெற்றிருக்க வேண்டும். அப்பொழுதுதான் ஒரு வண்டியிலிருந்து மற்ற வண்டிக்கு மாறுவது எளிதாக இருக்கும். எலெக்ட்ரான் மேகங்களின் உருண்டை அல்லது சுருட்டு வடிவமான அமைப்புகளை இரயில் வண்டிகள் என நினைத்துக் கொள்ளலாம்.

அணுக்கருவை மையமாகக் கொண்ட இரண்டு உருண்டை வடிவமான மேகங்கள் ஒன்றை ஒன்று தொடாமலேயே இருக்கலாம். இவ்விரு நிலைகளுக்கும் இடையே எலெக்ட்ரான் மாற்றங்கள் ஏற்படமுடியாது என்று கருதலாம். ஒரு சுருட்டு வடிவமேகம் உருண்டை வடிவ மேகத்தை ஊடுருவிச் செல்கிறது எனக்கொள்வோம். சுருட்டுவடிவம் தடிமனுகவும் குட்டையாகவும் இருந்தால் ஊடுருவல் அதிகமாகும். இரு சுருட்டுவடிவ மேகங்கள் ஒன்றை ஒன்று வெட்டக்கூடும். இத்தகைய அமைப்புகளுக்கு உள்ளே எலெக்ட்ரான்கள் தாவிச் செல்ல முடியும். எலெக்ட்ரான் மாற்றங்களின் நிகழ்திறன்களைக் கணக்கிட்டுச் சொல்லும் குவான்டம் இயல்விதிகளை, தேர்ந்தெடுக்கும் விதிகள் என்று குறிப்பிடுவோம்.

குவான்டம் இயலார் இவ் விதிகளை மிகத் துல்லியமாக நிர்ணயித்துள்ளனர். ஆனுல், இயற்கை இவ் விதிகளுக்குட்பட்டு எப்போதும் செயல்படுவதில்லை

எலெக்ட்ரான்கள் குறைவாயுள்ள இலேசான அணுக்களில் நிகழ்திறன் மேகங்கள் ஊடுருவிச் செல்வது குறைவு. அதிக எலெக்ட்ரான்கள் உள்ள அணுக்களில் தாறுமாருகவும் குழப்பமாகவும் எலெக்ட்ரான் மேகங்கள் உள்ளதால் குவான்டம் எந்திரவியல் விதிகள் முறிவுறுகின்றன.

இத்தகைய வியக்கத்தக்க அதிவிரைவில் ஏற்படும் எலெக்ட்ரான் மாறுதல்களில் ஃபோட்டான்கள் வெளியாகின்றன. இவற்றை நிறமாலைமானியில் பகுத்துப் பார்க்கும்பொழுது வானவில்லில் உள்ள பல நிறவரிகள் தெரிகின்றன. ஒரு நொடியில் அதிகமான ஃபோட்டான்களை ஓர் அணு வெளிப்படுத்தினுல் வரிகள் ஒளிமிக்கதாகத் தெரியும்.

அணுக்களின் எண்ணிக்கை மாறுமல் இருந்தால் எலெக்ட்ரான் மாறுதல்களின் அதிர்வு எண்ணைப் பொறுத்து நிறமாலை வரிகளின் செறிவு இருக்கும். இந்த அதிர்வெண் எலெக்ட்ரான் மாற்றங்களின் நிகழ்திறனைச் சார்ந்தது. ஒவ்வொரு ஃபோட்டான் ஆற்றலுக்கும் நிறமாலைவரிக்கும் ஏற்ற நிகழ்திறனும் செறிவும் உண்டு.

அணுவின் நிறமாலை விளக்கத்தைச் சொற்களில் எளிதாக விவரிக்கமுடிகிறது. ஊடுருவிச்செல்லும் எலெக்ட்ரான் மேகங்களையும் எலெக்ட்ரான் மாற்றங்களில் நிகழ்திறன்களையும் கணக்கிட்டுக் கூறுவது மிகக்கடினம். குவான்டம் இயலில் மிகச் சிறப்புடன் இச் சிக்கலைத் தீர்த்துச் செயல்முறையில் கண்ட நிறமாலைகளை நன்கு கணக்கிட்டுக் கூறியுள்ளனர். நிறமாலை இயல், மிக வலிவான அடிப்படையில் நிறுவப்பட்டது.

செறிவு மிகுந்த வரிகளும் இரட்டை வரிகளும்

நிறமாலையைப்பற்றிய விளக்கம் நிறைவுற்றதாகக் கூற முடியாது. நிறமாலையைச் செயல்முறையில் துல்லியமாக ஆராய்ச்சி செய்யவல்ல கருவிகள் பயன்படுத்தப்பட்டன. இவற்றில் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட உண்மைகள் இரண்டு புது வினுக்களை எழுப்பின. ஒரு ஃபோட்டானுக்கு ஓர் அதிர்வெண் மட்டுமிருந்தால் நிறமாலை ஒளிப்பதிவுகளில் வரிகள் ஏன் அகன்று காணப்படுகின்றன?

குவான்டம் இயல் வளர்ச்சிக்கு முன் இக் கேள்விக்கு விடை காணுவது அரிதாக இருந்திருக்கும். எலெக்ட்ரானின் அலைப் பண்புகளும் தெளிவின்மை விதிகளும் இதற்குக் காரணம் என்பதை இப்பொழுது எளிதில் விளக்கலாம்.

ஓர் அணுவில் ஓர் எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்புள்ளது. ஒரு ஃபோட்டான் வெளியுறுவதற்கு முன்னும் வெளிவந்த பின்னும் ஓர் எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் வரையறுக்கப் பட்டிருப்பதால் தெளிவின்மை நிலை எப்படி உருவாகும்.

ஓர் எலெக்ட்ரானின் மாருநிலையில் உள்ளபொழுது அதன் ஆற்றல் திட்டமாக வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனுல், எலெக்ட்ரான் நிலை மாறும்பொழுது ஐசன்பர்க் என்பவரின் தெளிவின்மைக் கொள்கை செயல்படத் துவங்குகிறது.

எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல்நிலை மாறுவதற்கான நேரம் எவ்வளவு? அதன் மதிப்பு மாறுவதால் அதை Δt என்று குறிப்பிடலாம். தெளிவின்மைக் கொள்கைப்படி :

$$\Delta E \sim \frac{h}{\Delta t}$$

என்ற வாய்பாடு நாம் அறிந்தது. இதிலிருந்து ப்ளாங்க் ஆற்றல் வாய்பாட்டினுல் போட்டான் அதிர்வெண்ணின் தெளிவின்மையை

$$\Delta\omega \sim \frac{1}{\Delta t}$$

என்று குறிப்பிடலாம். ஓர் எலெக்ட்ரான் ஒரு நிலையில் நிலைத்து இருந்தால் Δt மிகுந்த $\Delta\omega$ குறைந்திருக்கும், நிறமாலைவரிகள் மெலிந்திருக்கும். உயர்ந்த வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் அணுக்களும் அவற்றில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களும் அமைதி சிறிது மின்றி இயங்கிக்கொண்டிருப்பதால் நிறமாலைவரிகள் அகன்று தென்படுகின்றன.

அடுத்த முக்கியமான கேள்வி ஒரு குறித்த அலை நீளத்திற்குப் பதில் சற்று வேறுபாடு உள்ள அலைநீளங்கள் உள்ள பல நெருக்க மான வரிகள் எப்படி வெளியாகின்றன என்பது இதுவரை ஆற்றல்களைபற்றிச் செய்த கணக்கீடுகள் தவறென்றே தெரிகிறது. ஆனால், இயற்பியலார் எலெக்ட்ரானின் சுழற்சி என்பதைக் கண்டுபிடித்து நிறமாலையின் துல்லிய பண்புகளை விளக்கினுர்.

எலெக்ட்ரான் சுழற்சி, கோண உந்தம் இவற்றைப்பற்றிய முழு விவரங்களையும் பின்னர்ப் பார்ப்போம். சுழற்சிகள் வேருக உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றல்கள் மாறுபட்டவை என்பதை மட்டும் நிறமாலைவரிகள் இரட்டிப்பதற்குக் காரணம் என்று இப் பொழுது கூறலாம். ஒரு வரி இருக்குமிடத்தில் ஒத்த செறிவு உள்ள இரு வரிகள் ஏற்படுவது இதனுல்தான்.

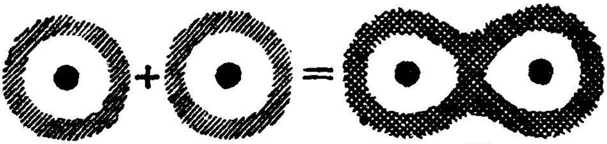
ஓர் அணுவின் வெளி ஒட்டில் ஓர் எலெக்ட்ரான் இருந்தால் இரட்டை வரிகளும் ஒன்றுக்கு மேல் எலெக்ட்ரான்கள் இருந்தால் மூன்று நான்கு இன்னும் அதிக எண்ணிக்கை உள்ள நிறமாலை வரிகளும் வெளிவருகின்றன. குவான்டம் எந்திரவியல் நிறமாலை இயலின் இருபெரும் பிரச்சினைகளை மேற்கூறியவாறு விளக்கிற்று. இத்துடன் தனி அணுக்களைவிட்டு மூலக்கூறுகள் அணு அடுக்குகள் கொண்ட படிகங்கள் இவற்றைப்பற்றிப் பார்ப்போம்.

அணுக்களினிடையே திருமணங்கள்

உயர்குடி அணுக்கள் எனப்படும் மந்தமான தனிமங்களைப் போல் மற்ற அணுக்களும் பின்பற்றி நடக்க முற்பட்டதை ஏற்கெனவே பார்த்தோம். எலெக்ட்ரான் ஆடைகளைப் பகிர்ந்து கொண்டு இரண்டு, மூன்று அல்லது நான்கு அணுக்கள் கூட்டாளி களாகின்றன. ஒரு மூலக்கூறு மற்ற அணுக்களுக்கு இடையே ஒரு மந்த தனிமத்தைப்போல் ஒருவிதத் தடையும் இன்றிச் செயல் படுகின்றது.

சற்றுக் கூர்ந்து நோக்கினல் இவற்றின் உண்மையான தோற்றம் வெளிப்படும். ஒரு மூலக்கூறில் எலெக்ட்ரான் ஆடை மிக்க பகுதியை எதிர்மின் அயனி என்றும் எலெக்ட்ரான் ஆடை குறைந்த பகுதியை நேர்மின் அயனி என்றும் கூறலாம். இந்த எலெக்ட்ரான் ஆடை மாற்றத்திற்குப் பிறகு அப் பகுதிகள் ஒன்றை ஒன்று பிரிந்து செல்ல முடியாத நிலையில் உள்ளன. இத்தகைய சேர்க்கையை அறிவியலில் அயனிய மூலக்கூறு என்று கூறுவர். இவற்றில் உள்ள இணைப்பு விசைகள் மாறுபட்ட மின்னூட்டங் களுக்கிடையே உள்ள விசைகளே ஆகும். இவ் விளக்கத்தில் குவான்டம் இயலுக்கு ஒரு பங்கும் இல்லை.

அயனிய மூலக்கூறுகள் பலவகைப்பட்டவை. தனிம அட்ட வணையின் இடது பக்கத்தில் உள்ள அணுக்கள் வலது பக்கத்தில் உள்ள அணுக்களை மணந்துகொள்கின்றன. அட்டவணையில் இடைவெளி அதிகமுள்ள அணுக்கள் நன்கு இணைந்த குடும்பங்கள் ஆகின்றன.



H + H = H_2

படம் 11

அருகில் உள்ளத் தொகுப்புகளில் இருக்கும் அணுக்கள் இணைப்பு வலுவற்ற குடும்பங்களாகின்றன.

வேறுவகையில் இணைக்கப்பட்ட பலவகை மூலக்கூறுகளும் உள்ளன. ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறு ஒரு சிக்கல் இல்லாத வகையைச் சேர்ந்தவை. இவ் வகை மூலக்கூறுகளில் ஒரே தனிம அணுக்கள் சேர்ந்தவை. எடுத்துக்காட்டாகப் பிராணவாயு, நைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளைக் கூறலாம். மெண்டலிவ் அட்டவணையின் இடது அல்லது வலது பக்கத்தில் உள்ள அணுக்கள்மட்டும் இணைந்துள்ள மூலக்கூறுகளும் இவ் வகையைச் சார்ந்தது. இம் மூலக்கூறுகளைக் கூட்டு இணைதிறன் மூலக்கூறுகள் (covalent) என்று கூறுவார்கள்.

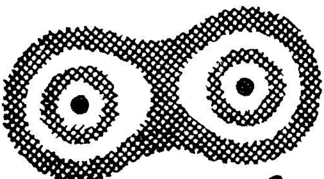
குவான்டம் இயல் இத்தகைய மூலக்கூறுகள் எப்படி அமை கின்றன என்பதை விளக்குகின்றது. இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ஒன்றை ஒன்று அணுகுகையில் என்ன ஏற்படுகிறது என்பதைப் பார்ப்போம். ஒன்று மற்றொன்றிற்குத் தன் எலெக்ட் ரானைக் கொடுக்கவோ அல்லது மற்றதன் எலெக்ட்ரானைக் கேட்கவோ முடியும். ஆனல், இத்தகைய மாற்றத்திற்கு இரண்

டிற்கும் சமஉரிமை உள்ளது. இம் மாற்றத்தைக் கொடுத்து வாங்குதல் (exchange) எனலாம். ஆனால், இம் மாற்றத்தால் பலனென்ன? அணுக்களைப் பார்த்து அணுச்சிற்பி கூறுவது:-

எலெக்ட்ரான் கொண்ட உயர்தர ஆடைக்குத் தேவையான எலெக்ட்ரான்கள் உங்களிடமில்லை. ஓர் அணுவின் எலெக்ட்ரான் மற்ற அணுவில் சில காலமும் அதே மாதிரி மற்ற அணுவின் எலெக்ட்ரான் முதல் அணுவில் சில காலமும் சேர்ந்திருக்கட்டுமே!

'ஏற்கெனவே கொடுத்துவாங்க முற்பட்டுவிட்டோமே' என்று அணுக்கள் கூறுகின்றன.

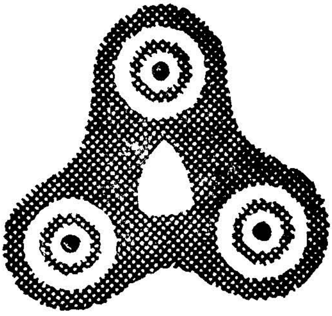
அணுச்சிற்பி : 'நீங்கள் எண்ணுவது தவறு, சில சமயம் ஓர் அணு இரண்டு எலெக்ட்ரானுடனிருக்கும். மற்றது ஆடையற்றிருக்கும். அப்பொழுது மின்னூட்டமுள்ள அயனிகளைப்போல் காட்சியளிப்பீர்கள். அயனிய மூலக்கூறுகளில் எலெக்ட்ரான் மாற்றம் நிரந்தரமானது, நீங்கள் மாறி மாறித்தானிருக்க முடியும்.'



படம் 12

அணுக்கள்: எவ்வளவு முறை இம் மாதிரி கொடுத்துவாங்க வேண்டும்?

அணுச்சிற்பி : 'அடிக்கடி போர் என்பவரின் கொள்கைப்படி ஆறு சுற்றுக்கொருமுறை எலெக்ட்ரான்கள் மாறவேண்டும். எட்டு என்ற எண்ணின் உருவம்போன்ற அமைப்புக் கிடைக்கும்.'



படம் 13

அணுக்கள்: சரி. அவ்வாறே இருக்க முயல்வோம்.

இந்த ஏற்பாட்டில் நல்ல குடும்பம் உருவாயிற்று. குவான்டம் இயலில் இதைக் 'கொடுத்து வாங்கு இடையீட்டுச் செயல்' (exchange interaction) என்று கூறுவர்.

பழங்கொள்கைகளின்படி இச் செயலை நினைத்துப் பார்க்கவும் இயலாது.

குவான்டம் இயலின் விளக்கம் பின்வருமாறு. இரு அணுக்களும் விலகியிருக்கையில் எலெக்ட்ரான்களின் நிகழ்திறன்

மேகங்கள் தனித்துள்ளன. ஆனால், இரண்டும் நெருங்கும்பொழுது இம் மேகங்கள் ஒன்றையொன்று ஊடுருவுகின்றன. ஓர் அணுவின் எலெக்ட்ரான் மற்றதன் கருவினருகிலிருக்கக்கூடிய நிகழ்திறன் கணக்கிடுமளவிற்குக் கூடுகிறது. இதைக் கொடுத்துவாங்கும் நிகழ்திறன் எனலாம்.

ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுக்கு இந் நிகழ்திறன் 15 விழுக்காடாகும். அதாவது, ஒரு மணியில் ஏறத்தாழ 10 நிமிடங்கள். இரு எலெக்ட்ரான்களும் ஒரு அணுவினருகிலிருக்கும். மற்றது எலெக்ட்ரானின்றி இருக்கும்.

இச் சூழ்நிலையில், மூலக்கூறு உறுதியானதாகவிருக்குமா? ஹைட்லர், லண்டன் என்ற இரு இயற்பியலாரின் கணக்குப்படி இவ் விணைப்பு வலிவுள்ளதென்றே தெரிகிறது. இக் கொள்கைப் பரிசோதனை முடிவுகளைப் பெரிதும் ஒத்திருக்கிறது.

பல மூலக்கூறுகளில் இத்தகைய இணைப்பைப் பார்க்கிறோம். நைட்ரஜனின் ஏழு எலெக்ட்ரான்களில், வெளியோட்டிலுள்ள 5 எலெக்ட்ரான்களால் இத்தகைய இணைப்பில் மூலக்கூறுகள் ஏற்படுகின்றன. பிராணவாயு மூலக்கூறு மித்தகையதே (படம் 12). மூன்று ஆக்சிஜனணுக்கள் சேர்ந்த ஓசோன் மூலக்கூறில் 18 எலெக்ட்ரான்களுக்குள் கொடுக்கல் வாங்கலைக் காணலாம். சிக்கலின்றி நடக்க, மூன்று அணுக்களும் முக்கோணத்தின் முனைகளிலமைகின்றன. பந்து விளையாட்டுபோல் எலெக்ட்ரான்கள் எறியப்படுகின்றன.

மூலக்கூறுகளின் அமைப்புகள் அணுக்களினமைப்பிலிருந்து மாறுபட்டுப் புதிய பண்புகளை எவ்வாறு வெளிக்காட்டுகின்றன என்பது இப்பொழுது நமக்கு விளங்குகிறது.

திடப்பொருள்கள் உண்மையில் திடப்பொருள்களே

இயற்பியல் ஆராய்ச்சிப் பாதையின் முனை திருப்பத்தில் ஒரு புதிய பரப்பைக் காணலாம். அது நம்மைச் சுற்றிலுள்ள திடப் பொருளைப்பற்றிய உண்மை. திடப்பொருள்களைப்பற்றித் தொன்று தொட்டு நாம் அறிவோம். இருப்பினும் அவற்றில் இதுவரை நமக்குப் புலப்படாத அநேக இரகசியங்கள் அடங்கியிருக்கின்றன.

இந் நூற்றுண்டில் திடப்பொருள்களின் அநேக குணங்களை இயற்பியல் வெளிப்படுத்தியிருக்கின்றது. படிக வடிவிலும், தூள் வடிவிலும் திடப்பொருள்கள் இருக்கலாம். வெப்பக்கடத்தல், மின்கடத்தல் இவை யிரண்டும் அவற்றில் அநேக முறைகளில் ஏற்படுகின்றன. ஒளி, ஒலி இவற்றின் பரவலும் அநேக வித

களில் ஏற்படுகின்றன. இவ் விளைவுகளைக் காரணம் கூறி விளக்குவது திண்மநிலை இயற்பியலுக்கும் மிகக் கடினமாக இருக்கிறது.

வியக்கத்தக்க வகையில் வளர்ந்து வரும் தொழில்நுட்பக் கலைகளில் இயற்கையில் தோன்றும் புதிய பொருள்கள் உபயோகத்திற்குக் கொண்டுவரப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் பண்புகளை அறிந்து கொள்வது மிகவும் முக்கியம். புதிய பொருள்களின் தேவைகள் அதிகரித்துக்கொண்டு வருகின்றன. இதை ஈடுகட்டிச் செயற்கைப் பொருள்கள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. உறுதிவாய்ந்த பொருள்கள், மின்கடத்தும் பொருள்கள், வெப்பத்தடுப்புப் பொருள்கள்போன்ற அநேக வகைப் பொருள்கள் தேவைப்படுகின்றன. இவை எவ்விதம் இயற்கைப் பொருள்களிலிருந்து தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இது ஒரு வகை ரசவாதமாக இருக்குமோ? பொருள்களில் ஏற்படும் மாற்றங்களைக் கண்டறியவும், அவற்றின் குணங்களைக் கண்டறியவும் குவான்டம் எந்திரவியல் உபயோகப்படுகின்றது. ஆரம்பத்தில் பொருள்களின் படிகத்தன்மைபற்றி ஆராய்ச்சிகள் நடத்தப்பட்டன.

படிகங்களில் அணுக்கள் ஒரே சீராக ஒழுங்காக அணியணியாக அமைந்திருக்கின்றன. இவற்றிற்கு அணிக்கோவை எனப் பெயர். சாதாரண அணிக்கோவைகளுக்கு இரு பரிமாணங்கள் உண்டு. ஆனால், படிகங்களுக்கு முப்பரிமாணமுண்டு. ஆகையால், படிகங்களை முப்பரிமாண அணிக்கோவை எனக் கூறலாம். ஓர் அணிக்கோவையில் உள்ள அடுத்தடுத்த இரு அணுக்களுக்கு இடையில் உள்ள தூரம் ஒரு மாறிலி. இதற்கு அணிக்கோவை இடைவெளி தூரம் எனப் பெயர். பொதுவாக நீளம், அகலம் மற்றும் உயரம் இவற்றைச் சார்ந்து மூன்று இடைவெளித் தூரங்கள் உண்டு.

பொதுவாகப் பொருள்கள் இயற்கையில் மாசு அற்றதாக இருப்பதில்லை. பல பொருள்கள் ஒன்று சேர்ந்த சேர்மம்தான் கிடைக்கின்றன. இவ் வகைப் பொருள்களின் அணிக்கோவையில் வெவ்வேறுவகை அணுக்கள் அடங்கியிருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, பனிக்கட்டிப் படிகத்தில் ஹைட்ரஜன் அணுவும், ஆக்சிஜன் அணுவும் உள்ளன. தண்ணீரின் வேதியியல் வாய்பாட்டின்படி ஹைட்ரஜன் அணுவின் எண்ணிக்கை, ஆக்சிஜன் அணுவின் எண்ணிக்கையைப்போல் இரு மடங்கு. வேறு எடுத்துக்காட்டாக, சோடியம் க்ளோரைட் படிகத்தை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். இப் படிகத்தின் அணிக்கோவையின் குறுக்கு வெட்டுப் புள்ளிகளில் (கணுக்கள்) சோடியம் மற்றும் க்ளோரின் அயனிகள் அடுத்தடுத்துள்ளன. இவை அணுக்கள் அன்று. அயனிகள், உப்புக்கரை

சலின் மூலக்கூறுகள் உறைந்து திடப்பொருளாக மாறும்பொழுது, அணுப்பிணைப்பின் அயனித்தன்மை நிலைத்திருக்கும். ஆனால், மூலக்கூறுகள் தன் தனித்தன்மையை இழந்துவிடுகின்றன. அவற்றைத் தனியாகப் பிரிக்கமுடியாது. ஒவ்வொரு சோடியம் அயனியைச் சுற்றியும் க்ளோரின் அயனிகள் உள்ளன. மேலும், ஒவ்வொரு க்ளோரின் அயனியைச்சுற்றியும் சோடியம் அயனிகள் உள்ளன. அணிக்கோவையில் மூலக்கூறுகள் தனியாகக் கிடையாது. இவ்வகைப் படிகங்களில் அயனிகளுக்கு இடையில் மின்விசை செயல்படுகின்றன. ஒரு சோடியம் அயனி அதற்கு அடுத்துள்ள க்ளோரின் அயனியை ஈர்க்கின்றது. அதேபோல் க்ளோரின் அயனி தன்னைச்சுற்றியுள்ள சோடியம் அயனிகளைச் சம விசையுடன் ஈர்க்கின்றது. ஆனால், அடுத்துள்ள க்ளோரின் அயனியை விளக்கமடையச் செய்கின்றது. இவ் வகை ஈர்ப்பு, விலக்கு விசைகளின் மொத்த விளைவினால் அயனிகளுக்கிடையில் ஒருவகைச் சமநிலை ஏற்படுகின்றது. இதுதான் படிக அணிக்கோவை.

இவ்வித ஏற்பாட்டினால் படிகத்தில் சமநிலையும் நிலைப்பாடும் உண்டாகின்றது. ஏதாவதோர் அயனி தாக்கப்பட்டு வெளியேற்றப்பட்டால், வேறுவகை அயனியுடன் அதன் ஈர்ப்புவிசை குறைக்கப்படுகின்றது. அதேவகை அயனிகள் வெளிப்பட்ட அயனியை எதிர்க்கின்றன. இவற்றின் மொத்தவிசை அயனியைப் பழைய நிலைக்கு திரும்பிச்செல்ல கட்டாயப்படுத்துகின்றது. உண்மையில் அயனியானது வெப்ப ஆற்றலைப் பெறும்பொழுது தன்னுடைய நிலையான புள்ளியைப்பற்றி அதிர்வு அடைகின்றது. அணிக்கோவையில் வெப்ப ஆற்றலால் ஏற்படும் இவ்வகை அதிர்வுகளால் பொருள்களின் முக்கியமான பண்புகளைப்பற்றி அறிந்து கொள்ளலாம்.

அயனிவகை மூலக்கூறுகளை அறியக் குவான்டம் எந்திரவியல் உதவுவதுபோல் அயனிவகைப் படிகங்களைப்பற்றியறிய உதவுவதில்லை. இருப்பினும் உலோகப்படிகங்களைப்பற்றிய ஆராய்ச்சி முதலில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டது. இங்கு நிலைமை வேறாக இருந்தது. அணிக்கோவையில் ஒரேவகை அணுக்கள் இருந்தால், அவற்றிலிருந்து ஓர் அயனி வெளிப்பட்டாலும் மாற்றம் தெரியாது. ஓர் அணு ஓர் எலெக்ட்ரானை வெளிப்படுத்தினால் மற்ற அணுக்களும் அதேமாதிரிச் செய்யலாம்.

குவான்டம் எந்திரவியல் ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறை ஆராய்ந்து ஒரு வெற்றியை அடைந்திருந்தது. ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறு ஒரு சகப்பிணைப்பு வகையைச் சார்ந்தது. உலோகப்படிகங்களும் ஏன் இவ்விதப் பிணைப்பு உடையதாக இருக்கக்கூடாது? ஆயிரக்கணக்கான அணுக்களைக்கொண்ட சகப்பிணைப்புக் கொண்ட ஒரு பெரிய

மூலக்கூறுக ஏன் கருதக்கூடாது? இவ்விதக் கேள்விகளுக்கு விடை கண்டுபிடிக்கப்பட்டு மேற்கூறிய கூற்று சரியென்று நீருபிக்கப் பட்டது. இரண்டு அணுக்களுக்கிடையில் எலெக்ட்ரான் பரிமாற்றம் ஏற்படுவது சரியென்று கருதப்பட்டது. இவ்வகைப் பரிமாற்றம் அநேக எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட தொகுப்பிற்கும் பொருந்த வேண்டுமென்று கருதப்பட்டது. இருப்பினும் இவற்றை நிரூபிப்பது சுலபமல்ல. திடப்பொருள்களை ஆராய்ந்தறிவது மிகக்கடினம் என்பது தெளிவாகத் தெரிந்தது. குவான்டம் எந்திரவியல்கூடத் திடப்பொருள்களை ஆராய அதிகமாக உதவவில்லை.

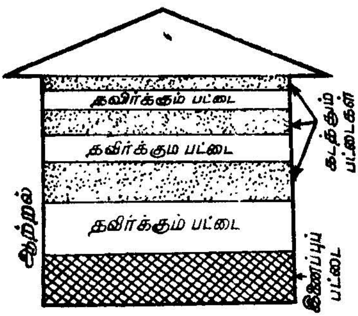
படிகத்தின் மூல அமைப்புக் கூறுகளும் அதன் அடுக்கு அமைப்பும்

ஓர் உலோகத்தின் அணுக்கள் ஒன்றுசேர்ந்து படிகவடிவம் அடையும்பொழுது, அதன் கூடுகை எண் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்களுக்குப் பொதுவுடமையாகின்றன. இதன் விளைவாகப் படிகத்திற்கு ஓர் எலும்புக்கூடுபோல் ஓர் அடிப்படை அமைப்புக் கிடைக்கின்றது. படிகத்தின் அணிக்கோவை கணுக்களிலுள்ள மெல்ல இயங்கும் அயனிகளைச்சுற்றி நிறைகுறைவான, இயக்கமுடைய எலெக்ட்ரானின் முகில் உள்ளது. ஒரேவகை மின்னூட்டமடைந்த ஒன்றையொன்று எதிர்க்கும் அயனிகளைப் பிணைக்கும் பசைபோல் இந்த முகில் வேலை செய்கின்றது. மாறாக, எலெக்ட்ரான் எல்லா திசைகளிலும் சிதறிவிடாமல் அயனிகள் அவற்றைப் பிணைக்கின்றன. உலோகத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான் எல்லாம் கிட்டத்தட்டக் கட்டுப்படாத எலெக்ட்ரான்கள் என முன்பு கூறப்பட்டது. ஒவ்வோர் அணுவும் பொது அமைப்பிற்கு தன்னிடமுள்ள எலெக்ட்ரான்களைக் கொடுத்துவிடுவதால், எலெக்ட்ரான்கள் தனிப்பட்ட அணுவைச் சாராமல், எல்லா அணுவிற்கும் பொதுச் சேவகன் போல் மாறிவிடுகின்றது. இப்பேர்ப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக் கணக்கிலடங்காதவை. இவ் எலெக்ட்ரான்கள் படிகத்தில் தன்னிச்சைப்படி கட்டுப்பாடில்லாமல் நகருகின்றன. படிகத்திலுள்ள எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் கட்டுப்படாதவை என்று கூறிவிடமுடியாது. ஒவ்வோர் அணுவும் அதன் வெளிக்கூடில் உள்ள ஒன்று அல்லது இரண்டு எலெக்ட்ரான்களைக் கொடுத்துவிட்டு மற்றவைகளைக் கெட்டியாகத் தன்னுடன் பிணைத்துக்கொள்கின்றது. இருந்தபோதிலும் கட்டுப்படாத எலெக்ட்ரானின் எண்ணிக்கை மிகவும் அதிகம். ஒரு கன செ.மீக்கு 10^{22}-லிருந்து 10^{23} வரை இருக்கலாம்.

அயனிவகைப் படிகங்களைவிட, உலோகப்படிகங்களில் நேர்த்தியான அமைப்பும் கட்டுப்பாடும் உள்ளது. இவ் வமைப்பு உலோகங்களில் ஏற்படும் மின் கடத்தலையும் மற்றப் புதிய குணங்களையும்

விளக்கப் பயன்படுகின்றது. அயனிவகைப் படிகங்களை. ஒரு மின் புலத்திற்குட்படுத்தினுல், எலெக்ட்ரான் முகிலில் சற்று மாற்ற மேற்பட்டு, நீட்சியடையும். இது படிகத்தில் மின்தளவிளைவைத் தோற்றுவிக்கும். அயனிகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான் வெளியேற வழியில்லை. அயனிகள் அணிக்கோவையின் கணுக்களில் இருக்கும். தன்னிச்சையாக இயங்கும் மின்னூட்ட ஊர்திகளும் கிடையாது. ஆகையால் மின்கடத்தல் ஏற்படாது. இக் காரணங்களால் அயனிவகைப்படிகங்களை மின்காப்பான்கள் எனக்கூறலாம். ஆனுல், உலோகங்களில் கட்டுப்படாத எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. அவற்றின் மின்னூட்டத்தை எடுத்துச்செல்ல உதவுகின்றன. ஆகையால், உலோகங்களில் சுலபமாக மின்னோட்டம் ஏற்படுகின்றது. குறைகடத்திகளில் மின்னோட்டம் எவ்விதம் ஏற்படுகின்றனவென்று பிறகு கவனிப்போம்.

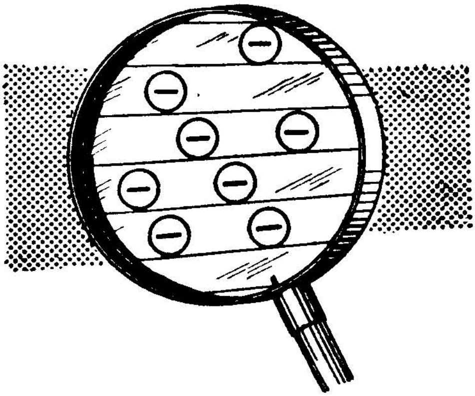
உலோகங்களின் சில முக்கியப் பண்புகளைக் குவான்டம் எந்திரவியல் வெளிப்படுத்துகின்றது. அவற்றைப்பற்றி இப்பொழுது எடுத்துக்கொள்ளுவோம். உலோகப்படிக எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் என்ன? இதற்கு விடை காணுவது எளிது. அணுக்களின் கட்டுப்படாத எலெக்ட்ரான்கள் எல்லாவித ஆற்றலையுமுடையதாக இருக்கலாம். கட்டுப்படாத எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மட்டங்களில் குவான்டம் அமைப்பு மறைந்துவிடுகின்றது. எலெக்ட்ரான்கள் அணுவிற்குக் கட்டுப்படாவிட்டாலும், உலோக துண்டுகளிலிருந்து வெளியேறுவதில்லை. அவற்றின் அணு உலக விதிகளுக்கு உட்படாவிட்டாலும் உலோகங்களின் மொத்த எலெக்ட்ரான்களின் கூட்டத்திற்கான பொது விதிகளுக்குட்பட்டிருக்கும்



படம் 14

ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டின் தீர்வுகண்டு, அணுவிதிகள் கண்டு பிடிக்கப்பட்டனவென்று முன்பு கூறப்பட்டது. உலோகங்களின் கட்டுப்படாத எலெக்ட்ரான்களுக்கும் இம்முறை கடைபிடிக்கப் பட்டது. ஓர் உலோகத்தின் அணிக்கோவை கணுக்களில் உள்ள நேர்மின்னூட்ட மின்புலத்தில் ஊசலாடும் எலெக்ட்ரான்களுக்கு ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடு உண்டாக்கித் தீர்வுகாண முயற்சித் தார்கள். ஆனுல், இவ் விடத்தில் சிறிய மாற்றத்தை கவனத்தில் கொள்ளவேண்டும். அணுக்கள் ஒன்றையொன்று கவரக்கூடியவை.

ஓர் அணுவின் மேல்பக்க அணுக்களால் ஏற்படும் கவர்ச்சி ஒரு வெளிப்படைத்தோற்றம் எனக்கொள்ளப்பட்டது. இதனுல், அணுவிற்குள் ஏற்படும் மாற்றமென்ன? அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான் முகில் தன் அமைப்பை மாற்றிக்கொள்கின்றது. இதை முதன் முதலில் ஸ்டார்க் (Stark) கண்டுபிடித்தார். ஒரு பொருளை மிகவும் அதிகமான மின்புலத்தில் வைத்தால், அது தோற்றுவிக்கும் வெளிவிடு நிறமாலை வரிகளில் பிளவு ஏற்படுகின்றதெனக் கண்டுபிடித்தார்.



படம் 15

முன்பு கூறப்பட்ட இரட்டை வரிகளுக்கும், ஸ்டார்க் பிளவிற்கும் ஒருவிதப் பொருத்தமும் கிடையாது. இருப்பினும் இரண்டிற்கும் ஒரு பொதுவான அமைப்பு உண்டு என்று குவான்டம் எந்திரவியல் காண்பித்தது. நிறமாலையில் ஏற்படும் பிளவு எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் மட்டங்களில் ஏற்படும் பிளவிற்குச் சமம். அதாவது, ஓர் அணுவிற்கு மின்புலத்தைக் கொடுத்தால் அது அவ்வணு ஆற்றல் மட்டங்களைப் பிளக்கின்றது. ஓர் அணு மற்றோர் அணுவை நெருங்கும்பொழுது அவற்றிற்கிடையில் ஏற்படும் மின்புலத்தின் வினை (மின்புலத்தின் மதிப்பு இவ் விடத்தில் மிக அதிகம்) நாம் முன்கூறியவற்றிலிருந்து அடிப்படையில் மாறுபட்டதல்ல.

உண்மையில் ஒரு மூலக்கூறு உண்டாகும்பொழுது அதன் அணுக்களின் தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்கள் மறைந்துவிடுவது உண்மை. ஆற்றல் மட்டங்களில் பிளவு ஏற்பட்டு, ஒன்றுடன் மற்றொன்று கலந்து மேலும் கீழும் நகர்ந்து மூலக்கூறு ஆற்றல் மட்டங்களாக மாறிவிடுகின்றன. இவ் ஆற்றல் மட்டங்கள் மூலக்கூறு முழுமைக்கும் பொதுவானது. மூலக்கூறுகளைப்போல் படிகங்களிலும் அணுக்கள் வெகுபக்கத்தில் பொருத்தப்பட்டிருக்

கின்றன. படிகங்களை 'உறைந்த' ஒரு பெரிய மூலக்கூறு எனக் கூறலாம். மூலக்கூறுகளில் எல்லா அணுக்களின் மூலக்கூறுகளும் ஒன்றுசேர்ந்து அணுக்களின் ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒவ்வொன்றையும் பிளந்து, அநேக துணைமட்டங்களாக மாற்றிவிடுகின்றன. இத் துணைமட்டங்கள் ஒன்றுக்கொன்று வெகு அருகில் உள்ளன. ஆகையால் அணுக்கூட்டிற்கு வெளியிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் 'தனித்துவம்' முற்றிலும் மறைந்துவிடுகின்றது. இக் காரணங் களால் படிகங்களில் எலெக்ட்ரான்கள் எவ் ஆற்றலையும் பெறலாம்.

ஆனால், இவற்றிலிருந்து ஒரு புதிய உண்மை வெளிப்பட்டது. படம் 14-ல் காண்பித்திருப்பதுபோல் எலெக்ட்ரானின் தேவை யான ஆற்றல் மட்டங்கள் பூர்த்தியடைந்திருக்கின்றன. எலெக்ட் ரான் அடையமுடியாத ஆற்றலைக் காலியான பட்டை காண்பிக் கின்றது. இதில் சுழிநிலை அலையணிக்கோவையும் அடங்கியிருக் கின்றது. இந்த வெள்ளைப்பட்டைகளுக்கு விலக்கப்பட்ட மண்டி லங்கள் அல்லது பட்மாடகள் எனப் பெயர். குறுக்கு வரிகளைக் கொண்ட அனுமதிக்கப்பட்ட பட்டையில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் எல்லா ஆற்றல்களையும் பெறமுடியாது. இப் பட்டையிலும் தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்கள் உண்டு. ஆனால், ஒவ்வொரு ஆற்றல் மட்டங்களிலும் எண்ணிக்கையற்ற எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. ஆகையால், பார்ப்பதற்கு ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒரு தொடர்ச்சியானவைபோல் உள்ளது.

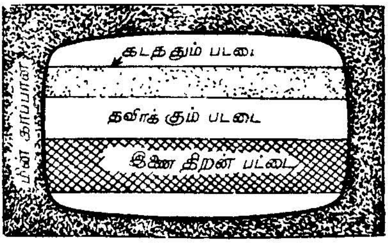
இந்த ஆற்றல் மட்டங்களில் எலெக்ட்ரான்கள் எவ்விதம் வசிக் கின்றன எனப் பார்ப்போம். எலெக்ட்ரான்கள் பவுலியின் தவிர்க்கைத் தத்துவத்திற்குட்பட்டவை. அணுக்களுக்கு இது பொருந்துவதுபோல்,உலோக எலெக்ட்ரான்களுக்கும் பொருந்தும். ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டங்களிலும் இரண்டே இரண்டு எலெக்ட் ரான்கள்தான் இருக்கமுடியும். ஒவ்வொரு பட்டையிலும், அநேக ஆற்றல் மட்டங்களுள்ளன. உலோகங்களில் எப்பொழுதுமே தேவைக்கு அதிகமான 'இருக்கை வெளி' உள்ளன. இயல்பான நிலையில், எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் அனுமதிக்கப்பட்ட மட்டங் களின் கீழ்நிலையில் இருக்கும். இதைத் தரைமட்ட நிலை எனக் கூற லாம். இதற்கு அடியில் அணுக்கருவிற்குக் கட்டுப்பட்ட எலெக்ட் ரான்கள் உள்ளன. இந்த அடிமட்டமும் தரைமட்டமும் தனித் தனியாக இருப்பினும் அவற்றுக்கிடையில் தொடர்பு ஏற்படலாம். கட்டுப்பட்ட எலெக்ட்ரான் உந்தப்பட்டு அல்லது முடுக்கப்பட்டு அடிமட்டத்திலிருந்து தரைமட்டத்திற்குச் செல்லமுடியும். ஆனால், அது விலக்கப்பட்ட பட்டையை அடைய முடியாது. அடிப்படை ஆற்றல் மட்டத்திற்குக் கூடுகை எண் பட்டை எனப் பெயர். அனுமதிக்கப்பட்ட எல்லா ஆற்றல் மட்டங்களையும்

பொதுவாகக் கடத்தும் மட்டங்கள் எனக் கூறுவர். இவ்வித பெயர் எவ்விதம் தோற்றுவிக்கப்பட்டன என்பதை அறிவது எளிது. அடிமட்டத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்களெல்லாம் அணுக்கூட்டிற்கு வெளியிலுள்ள கூடுகை எண் எலெக்ட்ரான்கள். அதேபோல் தரை மட்டத்திலும் மேல்மட்டத்திலுமுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் மின் கடத்தலில் பங்குகொள்கின்றன.

மின்காப்பான்கள் மின்கடத்தியாக மாறலாம்

மின்காப்பான்கள் எல்லா எலெக்ட்ரான்களையும் அடிமட்டத்தில் வைத்துக்கொள்கின்றன. சாதாரண நிலையில் அவற்றின் கடத்தும் பட்டைகள் காலியாக இருக்கும். முதல் விலக்கப்பட்ட பட்டை மிகவும் அகலமாக இருக்கும். ஆகையால் எலெக்ட்ரான்கள் அதிக அளவு ஆற்றலைப்பெற்ற பிறகுதான் இப் பட்டையைத் தாண்டமுடியும். ஆனால்,மின்காப்பான்களின் வெப்ப நிலையை அதிகமாக்கும்பொழுது அதன் அணிக்கோவை கணுக்களி லுள்ள அயனிகளின் அதிர்வு ஆற்றல் மிகவும் அதிகமாகின்றது. இந்த ஆற்றல் எலெக்ட்ரானுக்கு மாற்றப்பட்டு அது தாண்டிக் கடத்தும் பட்டையை அடையும். இப்பொழுது மின்காப்பான் மின்கடத்தியாக மாறுகின்றது. இதை வெப்ப வீழ்ச்சி எனக் கூறலாம். இதை நிரூபிக்கக் குவான்டம் எந்திரவியல் தேவை யில்லை. ஏனெனில், எலெக்ட்ரான் ஆற்றலைப்பற்றி அணு உலகி லிருந்து வெளியேறி, கடத்தும் பட்டையை அடைந்து ஒரு கட்டுப் படாத எலெக்ட்ரானாக மாறி விடுகிறது. இதற்குத் தேவையான ஆற்றலின் மதிப்பு விலக்கப்பட்ட பட்டையின் அகலத்திற்குச் சமம்.

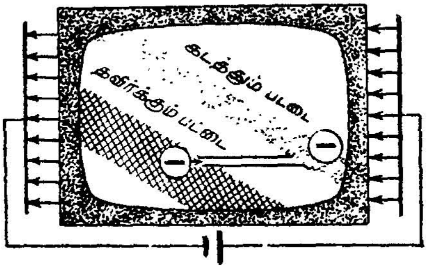
இவையெல்லாவற்றையும் சுலபமாகக் கற்பனைசெய்து பார்க்கலாம். வெப்ப வீழ்ச்சி. எலெக்ட்ரானை அணுவிலிருந்து பிரித்து, அணுவை அயனியாக்குகின்றது. எலெக்ட்ரான் தன்னிச்சையாக இயங்க ஆரம்பிக்கின்றது. ஆனால், காப்பானைவிட்டு வெளியேற முடியாது. மேலும் காப்பானை ஒரு மின்புலத்திற்குள் வைத்தாலும் அது மின்கடத்தியாக மாறிவிடுகின்றது. இது சென்ற அத்தியாயத்தில் கூறிய 'குளிர் வெளிவிடு எலெக்ட்ரான்' போல் உளதோ? குளிர் வெளிவிடு உலோகத்தில் ஏற்படுகிறது: எலெக்ட்ரான் உலோகத்திலிருந்து விடுபட்டுவிடுகின்றது. ஆனால்,



படம் 16

இங்கு நாம் எடுத்துக்கொண்டது அயனிப் படிகம். அயனிப் படிகத்தில் எலெக்ட்ரான் கூடுகை எண் பட்டையிலிருந்து கடத்தும் பட்டைக்குத் தாவுகின்றது.

இவ்வித வேறுபாடு இருந்தபோதிலும் இரண்டும் ஒரே வகை நிகழ்ச்சி. இரண்டும் புழல் விளைவிற்குச் சமம். விலக்கப்பட்ட பட்டை என்பது மின்னழுத்த அரணுக்குச் சமம். ஆனால், இம் மின்னழுத்த அரணின் அகலம் வரம்பில்லாதது எனக் கொள்ளலாம். மேலும், இதை ஒரே முகப்பு உடைய அரண் எனக் கூறலாம். மின்புலம் இதை வளைத்து ஒரு பின் முகப்பை உண்டாக்குகின்றது. ஆகையால், அரண் ஒரு வரம்பிற்குள் கொண்டுவரப்படுகின்றது. எலெக்ட்ரான்கள் கூடுகை எண் பட்டையிலிருந்து கசிந்து கடத்தும் பட்டையை அடைகின்றது. பிறகு சிறிதளவு மின்னோட்டம் ஏற்படுகின்றது. எலெக்ட்ரான்களின் ஊடுறவு திறன் மிகக் குறைவு. ஆகையால், வெகு சில எலெக்ட்ரான்களே கடத்தும் பட்டையை அடைகின்றன. இச் சிறிய மின்னோட்டம் படிகத்தின்



படம் 17

வெப்ப நிலையை அதிகரித்துக் கடத்தும் பட்டைக்கு மேலும் எலெக்ட்ரான்களை அனுப்புகின்றது. ஆகையால், மின்னோட்டம் அதிகமாகின்றது. திரும்பத் திரும்ப இந் நிகழ்ச்சி ஏற்பட்டு மின்னோட்டத்தின் மதிப்பு அதிகமாகிக்கொண்டு செல்கின்றது. வெகு குறுகிய காலத்திற்குள் வெப்ப வீழ்ச்சி ஏற்பட்டு, சிதைந்து காப்பான் உருகிவிடுகின்றது. இப்பொழுது காப்பானை மேலும் உபயோகிக்க முடியாது. அதைத் தூக்கியெறிந்துவிட வேண்டி வரும். ஆனால், மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்திக் காப்பான்களில் மின்னோட்டத்தை உண்டாக்கமுடியும். இந்த மின்னோட்டம் வலுவற்றிருக்கும். காப்பானையும் சேதப்படுத்தாது. அயனிப் படிகங்களின்மேல் ஒளி ஃபோட்டான்களைச் செலுத்தி, எலெக்ட்ரான்களைக் கூடுகை எண் பட்டையிலிருந்து கடத்தும்பட்டைக்கு மாற்றி இவ் வகை மின்னோட்டத்தை உண்டாக்க முடியும். இது ஓர் ஒளிமின் விளைவு. ஆனால், இதில் எலெக்ட்ரான் வெளிப்

படுவது கிடையாது. எல்லா நிகழ்ச்சிகளும் படிகத்திற்குள் ஏற்படு கின்றன. இதனால் படிகத்திற்கு ஒருவிதமான ஆபத்தும் கிடையாது. இவ்வித மின்னேட்டம் அநேக விதங்களில் உபயோகப்படும்.

உலோகங்களில் மின்னேட்டம்?

இருபதாம் நூற்றுண்டில் இவ்விதக் கேள்வியைக் கண்டு நாம் வெட்கப்படவேண்டும்? இருப்பினும் இதைப்பற்றி ஆராய்வது நல்லது. நீர் அதிக அழுத்தமுள்ள இடத்திலிருந்து குழாய் வழியாக அழுத்தக் குறைவான இடத்திற்குச் செல்லுகின்றது. அதே போல் மின்னேட்டம் கம்பி வழியாக ஏற்படுகின்றது. எலெக்ட்ரான்கள் மின் தோற்றுவாயிலிருந்து கிளம்பி கம்பி வழியாகச் சென்று மறுபடியும் தோற்றுவாயை அடைந்து:விடுகின்றது. இதில் வெட்கப்பட என்ன இருக்கின்றது. கம்பியில் மின்னேட்டத்திற்குத் தடை எவ்விதம் ஏற்படுகின்றது? மின்கடத்தி ஒரு குழாயல்ல. அதன் சுவர்கள் சுரசுரப்பாக யிருக்காது. அநேக மின்னேற்பிகளை யுடைய உலோகத்தில் எவ்விதம் மின்தடை ஏற்படுகின்றது. இக் கேள்விக்கு விடை காண்பது சற்றுக் கடினம். மின்னேட்டங்களைப் பற்றி நூற்றைம்பது ஆண்டுகளாக அறிந்திருக்கின்றோம். இருப் பினும் மின்தடையைப்பற்றித் தெளிவாக முப்பது ஆண்டுகளாகத் தான் அறிய வாய்ப்புக் கிடைத்தது.

முதுபழங் கொள்கையில் மின்தடைபற்றிப் பின்வருமாறு விளக்கம் கூறப்பட்டது. எலெக்ட்ரானின் ஓட்டமானது உலோகங் களிலுள்ள அயனிகளின் வெப்ப அதிர்வினுல் பாதிக்கப்படுகின்றது. இந்த அதிர்வுகள் எலெக்ட்ரானின் ஓட்டத்தைக் குறைக்கின்றன. எவ்விதம் ஒரு பெரிய பூகம்பத்தில் சிக்கிய மனிதர்களின் ஓட்டம் கட்டிடத்திலிருந்து வெளியேறும்பொழுது பாதையில் விழும் கற்கள், தூண்கள் இவற்றினுல் தடை செய்யப்படுகின்றதோ, அதேபோல் எலெக்ட்ரான்களின் ஓட்டமும் தடைபட்டுக் குறைக் கப்படுகின்றது. பூகம்பத்தில் தரை, சுவர் இவற்றின் அதிர்ச்சிக் குறைவாக இருக்கும்பொழுது கட்டிடத்திற்குள் நடந்து செல்வது இலகுவாக இருக்கும்.

அதேபோல் சார்பிலா சுழிவெப்பநிலையில், அயனிகளின் அதிர்வு மறைந்து விடுவதால், மின்தடையும் சுழியாக யிருக்க வேண்டும். சுத்தமான உலோகங்களில் இவ்விதம் ஏற்படலாம். உலோகத்தில் சிறிதளவு மாசுகூட இருக்கக்கூடாது. உலோகங் களின் மின்தடை இம் மாசுவின் வீதத்தைப் பொருத்திருக்கின்றது. வெப்பநிலை குறைந்து சுழிநிலையடைந்தால் மாசுபடிந்த உலோகங் களில் மின்தடை குறைந்து சுழியாவதில்லை. மாறுக, ஒரு குறிப் பிட்ட குறைந்த மதிப்பையுடையதாகவுள்ளது. இம் மதிப்பு

மாசின் வீதத்தைத் தவிர அதன் தன்மையையும் பொருத்திருக்கின்றது. மாசுவின் மதிப்பு அதிகமானல் எஞ்சிய மின்தடையின் மதிப்பும் அதிகமாகின்றது.

முதுபழங் கொள்கை இவ்வித மின்தடைக்குச் சரியான விளக்கம் கூறவில்லை. மாசு படிந்த அணுவையும் உலோக அணுவையும் இக் கொள்கை வேறுபடுத்திப் பார்ப்பதில்லை. ஒரே வெப்ப நிலையில் இரண்டு அணுக்களின் அயனிகளும் ஒரே மாதிரியான அதிர்வைப்பெற்று, ஒரேயளவு எதிர்ப்பை எலெக்ட்ரான் ஓட்டத்திற்குக் கொடுக்கின்றனவென்று இக் கொள்கையில் கருதப்பட்டது. ஆனல்,குவான்டம் எந்திரவியல் இந் நிகழ்ச்சியைக் கூர்ந்தாராய்ந்து இரண்டு அயனிகளும் இரு தனி நிறங்களைப்போல் வெவ்வேறு வகையைச் சார்ந்தது எனக் கூறிற்று. இருப்பினும் மின்தடைக்குக் காரணமென்ன?

முதன்முதலில் குவான்டம் எந்திரவியலைப்பற்றிக் கூறும் பொழுது எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டப் படிகத்தில் ஏற்படும் எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவு பரிசோதனையை நினைவுக்கு கொண்டுவரவும். அப் பரிசோதனையில் எலெக்ட்ரான்கள் படிக அணுவின் வெளிப் பரப்பில் விழுந்து எதிரொளிப்பு ஏற்பட்டு விளிம்பு விளைவு வளையங்களை ஒளிப்படத் தட்டில் உண்டாக்கிறது. உலோகங்களில் மின்னேட்டம் ஏற்படும்பொழுது எலெக்ட்ரான்கள் கற்றையாக ஒரு பொதுத்திசையில் செல்லுகின்றன. எலெக்ட்ரான் கற்றை அகலமாகி உலோகக் கம்பியின் குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பை அடைத்துக் கொள்கின்றன. இதனல், உலோகக் கம்பிக்குள் ஓர் 'அகவிளிம்பு விளைவு' ஏற்படவேண்டும். உலோகக் கம்பிக்குள் அயனிகள் எலெக்ட்ரான்களைத் தடுத்து விளிம்பு விளைவை உண்டாக்கவேண்டும். கம்பிக்குள் ஒளிப்படத் தட்டை வைத்தால் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் கிடைக்கவேண்டும்.

விளிம்பு விளைவிற்கு ஒரு முக்கியமான பண்புண்டு. அலைகளை சிதறச்செய்யும் பொருள்களின் சீரான அமைப்பில் சிறு மாறுதல் ஏற்பட்டாலும், பாங்கத்தின் தெளிவு மறைந்து ஒளிப்படத் தட்டில் ஒரே கருமை படர்ந்திருக்கும். இதற்குச் சமச்சீரான சிதறல் எனப் பெயரிடப்பட்டிருக்கின்றது. இதே மாதிரியான விளைவுதான் உலோகங்களிலுள்ள மாசுகளால் உண்டாக்கப்படுகின்றன. இதன் விளைவால் மின்னேட்டத்தை உண்டாக்கும் எலெக்ட்ரான் அலைகள் எல்லா திசைகளிலும் சிதறல் பெறுகின்றன.

மாசுபடிந்த அணுவின் எலெக்ட்ரான் கூடுகளின் பரிமாணங்கள், மாசுபடியாத உலோக அணுக்களிலிருந்து மாறுபட்டிருக்கின்றன. அதாவது மாசு, அணிக்கோவையை மாற்றியமைக்

கின்றது. எடுத்துக்காட்டைச் சற்று நீட்டினுல் மாசு அணுக்கள் படிகக் கட்டிடத்தின் சுவர்களேச் சற்று வளேக்கின்றதென்றுக் கூறலாம். தரையின் அமைப்பையும் மாற்றும் தன்மையுடையது. நடைக்கூடத்தையும் திருகுகின்றது. இவ்வித மாற்றங்கள் கட்டிடத்தில் அது நிலேயாக இருக்கும்பொழுதும் ஏற்படுகின்றன.

படிகங்களிலுள்ள மாசு அணுக்கள் உலோக அணுக்கோவையிலுள்ள அயனிகளே எல்லா வெப்பநிலேகளிலும் பாதிக்கின்றன. இவ்விதச் சீரற்ற அணிக்கோவையில் எலெக்ட்ரான் அலேகள் சிதறுவதால் உலோகங்களில் மின்தடை தோன்றுகின்றது. இது முதுபழங் கொள்கையினுல் கற்பித்துப் பார்க்கமுடியாத கூற்று.

இவ்விதம் உலோகங்களே முற்றிலும் முழுமையான மின்கடத்தியாகக் கருதமுடியாதென்று தெரிந்துகொள்கின்ருேம். உலோகங்களேவிட ஒருபடி மேன்மையான கடத்தியை இயற்கை தோற்றுவித்தது. அதற்கு மீக்கடத்திகள் எனப்பெயர்.

சில உலோகங்களும் உலோகக் கலவைகளும் மிகக்குறைந்த வெப்பநிலேகளில் வியக்கத்தக்க வகையில் நடந்து கொள்கின்றன. சார்பிலா சுழி வெப்பநிலேயிலிருந்து கிட்டத்தட்ட 10 டிகிரி வெப்ப நிலேக்குள் மின்தடையை இழந்துவிடுகின்றன. அரை நூற்ருண்டுக்கு முன்னுல் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இவ் விளேவிற்கு மீக்கடத்துத்திறன் எனப் பெயர்.

முதுபழங் கொள்கையில் இவ் விளேவிற்கு விடைகாண முடியவில்லே. ஒப்பற்றக் குவான்டம் எந்திரவியலும் மிகவும் கஷ்டப்பட்டு முப்பது ஆண்டிற்கு முன்னுல்தான் தெளிவான விளக்கம் கொடுக்க முடிந்தது. மீக்கடத்துத்திறனேப்பற்றி சில வருடங்களுக்கு முன்னுல் தான் உண்மை புலப்பட்டது. சோவியத் இயற்பியல் மேதை N. N. போகோலியாஃப் (N. N. Bogolyuvow) மற்றும் அவருடைய மாணவர்கள் ஒன்று சேர்ந்து மீக்கடத்துதிறன் என்ற சிக்கலுக்குத் தீர்வு காண பெருவாரியான பங்கேற்றிருக்கின்றனர். மீக்கடத்துத் திறனேப்பற்றி மேலும் விரிவாகக் கூறுவது இவ் விடத்தில் கடினமாக இருக்கும். அதைப்பற்றி ஒரு படத்தின் மூலமாக அறிய முயற்சி செய்வோம். உள்ளமைப்பின் காரணமாக அநேக உலோகங்களில் அயனிக்கும் எலெக்ட்ரான் அதிர்வுக்கும் இடையில் ஏற்படும் இடையீடு சார்பிலா சுழி வெப்பநிலேயில் வெகுவாக பாதிக்கப்படுகின்றது. அதிவெப்பநிலேயில் ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரானும் தனித் தனியாக இயங்குகின்றது. ஆனுல், மீக்கடத்தல் ஏற்படும் குறை வெப்பநிலேயில் எலெக்ட்ரான்கள் இரட்டைகளாகப் பிரிந்து இயங்குகின்றன. இதனுல் எலெக்ட்ரானுக்கும் அயனிக்குமிடையில் ஏற்படும் இடையீடு மாறுபடுகிறது. எலெக்ட்ரான் தனியாகச்

செயல்படாதவாறு அயனி தடுத்துவிடுகின்றது. எலெக்ட்ரான் இரட்டையாகச் செயல்படுவதால் அதன் கை ஓங்கி அயனியின் தடுத்தலை குறைக்கப்படுகின்றது. ஆகையால், மின்தடை வெகுவாகக் குறைக்கப்பட்டு உருத்தெரியாதவாறு உலோகத்தி லிருந்து நீக்கப்பட்டு விடுகின்றன.

இயற்பியல் கண்வழி நோக்கினுல், எலெக்ட்ரான் இயக்கத்தின் அலைநீளம் இரண்டு அயனிகளுக்கிடையிலுள்ள கிடை வெளியைவிட அதிகம். இந்த அத்தியாயத்தை கவனுத்துடன் படித்தால் இந்த ரகசியத்தின் காரணம் தெளிவாகும். எலெக்ட்ரான் இரட்டையின் அலைநீளம், அதை எதிர்த்து நிற்கவைக்கும் அயனிகளின் பரிமாணத் தைவிட அதிகமாகி, சாதாரண நிலையில் ஏற்படும் எலெக்ட்ரான் சிதறல் மறைந்துவிடுகின்றது. ஆகையால், மின்தடையும் மறைந்து விடுகின்றது.

இவ்விதம் எலெக்ட்ரான்களுக்குள் ஏற்படும் கட்டுப்பாடு, குறைந்த வெப்பநிலையில்தான் ஏற்படுகின்றது. வெப்பநிலை அதிகரித்து ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்கு மேற்பட்டால், அயனிகள் எலெக்ட்ரான் இரட்டையைப் பிளந்து தனித்தனியாக பிரித்து விடுகின்றன. அயனிகளின் எதிர்ப்பு அதிகமாகி மின்தடையும் தோன்றுகின்றது. ஆகையால் உலோகத்தில் எவ்விதம் மின் ேனாட்டம் ஏற்படுகின்றதென்று எழுப்பப்பட்டக் கேள்வி பொருத்த மானது.

வியக்கத்தக்க 'குறைபொருள்கள்'

மேலே கூறியவற்றிலிருந்து குறைபொருள்களைப்பற்றி சற்று ஊகித்துத் தெரிந்துகொண்டிருக்கலாம். இயற்கையில் பெரும் பாலான பொருள்கள் மின் கடத்திகளுமன்று. மின்காப்பான்களு மன்று. ஆனல், அவைகள் குறைகடத்திகள். இவற்றின் 'குறை' அல்லது இடைநிலை குணங்கள் மிகவும் அதிகமாக உபயோகிக்கப் பட்டுக் குறைகடத்திகள் தொழில்நுட்பக்கலையில் ஒரு புதிய புரட்சி யைத் தோற்றுவித்திருக்கின்றன. மின்காப்பான்களைப்போலில் லாமல், குறைகடத்திகள் அறை வெப்பநிலையில் மின்சாரத்தைக் கடத்தும். அதேசமயத்தில் மின்கடத்திகளிலிருப்பதுபோலில் லாமல், வெப்பநிலை அதிகமானல் குறைகடத்திகளில் மின்தடை குறைகின்றது. இயற்கையில் பொருள்களை மின்கடத்திகள், குறைகடத்திகள், மின்காப்பான்கள் எனத் தனித் தனியாக வரிசைப்படுத்திப் பிரிக்கமுடியாது. மின்கடத்திக்கும், மின்காப் பானுக்கும் இடையில் ஏற்படும் மாறுபாடு விலக்கப்பட்ட பட்டை யினல் ஏற்படுத்தப்படும் பாகுபாடு. இதைப்பற்றி முன்னமேயே கூறப்பட்டது.

மின்காப்பான்களில் அடிமட்டத்திற்கும் தரைமட்டத்திற்கு மிடையில் இடைவெளி அதிகமாக இருப்பதால் எலெக்ட்ரான் தரை மட்டத்தையடைய அதிக ஆற்றல் தேவை. இந்த ஆற்றல் மிக அதிகமான வெப்பநிலையில்தான் கிடைக்கும். (வெப்பச்சிதை வைக் கவனத்தில் கொள்ளவும்.) குறைகடத்திகளில் அடிமட்டத் திற்கும் தரைமட்டத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரம் குறைவு. எலெக்ட்ரான் மேலே செல்லத் தேவையான ஆற்றலை அறையின் வெப்பநிலையில் பெறமுடியும். ஆகையால், அறை வெப்பநிலையில் குறைகடத்திகளில் மின்னோட்டம் ஏற்படும். அதாவது, குறை கடத்திகளை மிகக்குறைந்த மின்புலத்திற்குள் வைத்தால் கடத்தும் பட்டையில் ஒரு திசை எலெக்ட்ரான் ஓட்டம் ஏற்படும். இப்பொழுது அடிப்படை மட்டத்தில் என்ன ஏற்படுகின்றதெனப் பார்ப்போம்.

ஓர் எலெக்ட்ரான் அடிமட்டத்திலிருந்து தரை மட்டத்திற்குச் சென்றுவிட்டால், அடிமட்டத்தில் ஒரு காலியிடம் உண்டா கின்றது. அதிலுள்ள மற்ற எலெக்ட்ரான்கள் தங்களின் இருப் பிடத்தை மாற்றியமைத்துக்கொண்டு காலியிடத்திற்கு ஓர் எலெக்ட்ரான் வருகின்றது. பொதுவாக, இது காலியிடம் ஏற்பட்ட அணுவிற்கு அடுத்த அணுவிலிருந்து இவ் எலெக்ட்ரான் வரும். அடுத்த அணுவில் ஒரு காலியிடம் ஏற்படும், இதை நிரப்ப வேறோர் எலெக்ட்ரான் வரும். எலெக்ட்ரான் முன்னோக்கி நகர்ந்து காலியி டத்தைப் பூர்த்தி செய்யச் செய்ய, காலியிடம் பின்னோக்கி நகர்ந்து செல்லும். இது தரைமட்டத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான் ஓட்டத்தைப் போல் இருக்கின்றது. கங்காரு என்றொரு மிருகம் மனித ஓட்டத்தைப் பின்பற்றி ஓடுவதுபோல் இது இருக்கின்றது. மனிதன் சிறிய ஆனால் வேகமான அடிகளை உபயோகப்படுத்துவான். ஆனால், கங்காரு ஒரு சில ஆனால் அகலமான அடிகளை உபயோ கிக்கும். எலெக்ட்ரான் தோற்றுவிக்கும் முதல் காலி அறை ஒரு நகரத்தின் மையத்தில் ஏற்பட்டதாகக்கொண்டால், எலெக்ட் ரான்கள் மாறியமைந்த பிறகு இறுதி காலியிடம் நகரத்தின் எல்லையில் தோன்றும் எனக் கொள்ளலாம். இவ்விதம் நகரும் எலெக்ட்ரான் அறைக்கு 'மின்துளை' எனப் பெயர். இந்த மின்துளை காலியிடத்தை உண்டாக்கிய எலெக்ட்ரானின் பண்பிற்கு எதிர் மறையான பண்புடையது. ஒரு மின்புலத்தில் எலெக்ட்ரான் செல்லும் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் மின்துளை நகரும். மேலும், இது மெதுவாக ஆனால் அகலமான தாவுதல் பெற்றிருக்கும். இது மற்றொரு மாறுபாடு, குறைந்த வெப்பநிலையில் எல்லா எலெக்ட் ரான்களும் அடிமட்டத்தில் அடைபட்டிருக்கும். வெப்பநிலை அதிகமாகும்பொழுது மேலும் மேலும் எலெக்ட்ரான்கள் விடுபடு

கின்றன. மின்னோட்டமும் அதிகமாகின்றது. குறைகடத்தியின் மின்தடை குறைகின்றது. இது உலோகக் கடத்தியின் பண்பிற்கு எதிர்மறையாகின்றது.

இதுவரை மாசற்ற குறைகடத்திகளைப்பற்றிச் சொல்லிக் கொண்டிருக்கின்றோம். மின்னோட்டம் ஏற்படும் விதத்தை 'உள்ளார்ந்த கடத்தல்' எனக் கூறுவர். மாசற்ற குறைகடத்திகள் அதிகமாகப் பழக்கத்திலில்லை. குறைகடத்திகளின் வியக்கத்தக்க பண்புகள் அவற்றிலுள்ள மாசுகளின் உதவியால் ஏற்படுகின்றன.

பயனுள்ள 'மாசு'

தூசி, மாசு இவற்றை எதேச்சையாகப் பொருள்களில் அடங்கி இருந்தால் நன்மையில்லை. ஆனால், தேவையான அளவு இருந்தால் நன்மையுண்டு. குறைகடத்திகளும் பொது விதிகளுக்குட் பட்டவை. படிகங்களில் எல்லா விதமான மாசுகளும் இருக்கலாம். இவை தேவையற்றவை எதேச்சையாக உள்ளவை. தேவையான அளவு மாசுகளைப் படிகங்களில் செலுத்தி படிகங்களின் பண்புகளை மாற்றிப் பிறகு உபயோகிக்கலாம். இவ்விதம் தயாரிக்கப்படும் படிகங்களால்தான் வியக்கத்தக்க விளைவு ஏற்படுகின்றது.

ஓர் உலோகம் நற்கடத்தியாக இருக்கவேண்டுமானால் அதிக மாசு படிந்திருக்கக்கூடாது. ஏனெனில், மாசு மின்கடத்தலுக்கு இடையூராக இருக்கும். மாசு அணுக்கள் படிகத்தின் அணிக் கோவையை அடைந்து அதை உருக்குலைவு செய்கின்றது. இந்த உருக்குலைவு அல்லது சரியில்லாமை மின்னோட்டத்தை உண்டாக்கும் எலெக்ட்ரான் அலைகளைச் சிதறச்செய்கின்றது. இதனால் மின்தடை அதிகமாகின்றது. இருப்பினும் படிக அணுக்கோவையின் இக் குறைபாடுகள் குறைகடத்திகளின் வெற்றிக்குத் துறவு கோல்போல் இருக்கின்றது. ஏனெனில், படிக ஆற்றல் பட்டைகளின் அமைப்பு, அணிக்கோவையின் வசத்திலிருக்கின்றது. அதில் ஏற்படும் சிறு மாற்றங்கள்கூட ஆற்றல் மட்டத்தைப் பாதிக்க வல்லவை. ஒவ்வொரு படிகத்திற்கும் தனித்தனி ஆற்றல் பட்டைத் தொகுப்புகள் உள்ளன. மாசு அணுக்கள் படிகத்தின் அணிக் கோவையை முற்றிலும் மாற்றாமல் தன் சுற்றுப்புரத்தில் மட்டும் மாற்றத்தை உண்டாக்குகின்றது. படிகத்திற்குப் பொதுவான பட்டையின் அமைப்பு இவ் விடங்களில்மட்டும் வெகுவாக மாறி விடுகின்றது. கூடுகை எண் பட்டைக்கும் கடத்தும் பட்டைக்கும் இடையிலுள்ள விலக்கப்பட்டப் பட்டையில், எலெக்ட்ரான்களின் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங்கள் தோன்றுகின்றன. எங்கு மாசு அணுக்களுள்ளனவோ அவ் விடங்களில் இம் மட்டங்கள்

உண்டாகின்றன. ஏற்கெனவேயுள்ள மட்டங்களிலிருந்து பிரித்துத் தெரிந்துகொள்வதற்காக இம் மட்டங்களுக்கு உள்ளிட மட்டங்கள் எனப் பெயரிடப்பட்டுள்ளது.

உலோகத்திலுள்ள மாசுகளின் எண்ணிக்கை மின்கடத்தலைப் பாதிக்கின்றது. மாசுகளின் எண்ணிக்கை அதிகமானால் மின் கடத்தல் குறைகின்றது, ஆனால், இம் மாற்றத்தின் அளவு மிகக் குறைவு. குறைகடத்திகளிலும் மின்கடத்தலை மாசுகளின் உதவியால் கட்டுப்படுத்தலாம். மாசுகளின் வகை அவற்றின் எண்ணிக்கை இவை இரண்டினாலும் மாற்றத்தை உண்டாக்க முடியும். மாற்றம் உலோகத்தில் ஏற்படும் மாற்றத்தைவிட ஆயிரக்கணக்கில் அதிகமாகயிருக்கும்.

தாராளமான அணுக்களும் கருமி அணுக்களும்

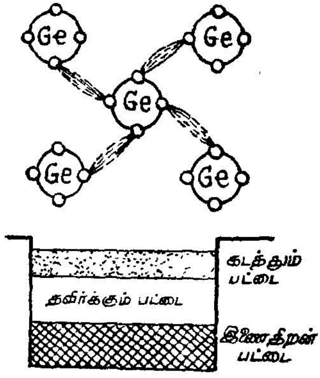
வேதியியல் தனிமங்களான ஜெர்மேனியம் மற்றும் சிலிக்கான் இவை இப்பொழுது அதிகமாக உபயோகத்திலிருக்கும் மாசற்றக் குறைகடத்திகள், தனிம அட்டவணையில் சிலிக்கான் அணு எண் 14. ஜெர்மேனியத்தின் எண் 32. அவை நான்காவது தொகுதியைச் சார்ந்தவை. இந்தத் தொகுதியை இடைநிலைத் தொகுதி என முன்பு குறிப்பிட்டோம். ஜெர்மேனியமும் சிலிக்கானும் மின் கடத்திகளுமன்று. மின்காப்பான்களுமன்று. ஆனால், குறைகடத்தி வகைகளைச் சார்ந்தவை. இவற்றின் வெளிக்கூடில் நான்கு எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. அணுக்கள் சேர்ந்து படிகங்களாக மாறும்பொழுது இந்த எலெக்ட்ரான்கள் மற்ற அணுக்களுடன் சேர்ந்து பிணைப்பை உண்டாக்குகின்றன. இவற்றை அடிமட்டத்திலுள்ள அடிமைகள் எனக் கூறலாம். ஆகையால், குறை வெப்ப நிலையில் இவை மின்னோட்டத்தைக் கடத்தா.

ஜெர்மேனியத்துடன் அதற்கு அடுத்த தனிமமும் ஐந்தாவது தொகுதியைச் சார்ந்ததுமான ஆர்சனிக் அணு சிலவற்றை மிகக் குறைந்த அளவு சேர்ப்பதாகக் கொள்ளுவோம். ஆர்சனிக் அணு அணிக்கோவையில் உள்ள ஜெர்மேனிய அணுக்களை நீக்கி அவ் விடத்தை அடைத்துக் கொள்ளும். இவ்விதம் உண்டாவதால் ஒவ்வொர் ஆர்சனிக் அணுவும், வெளியேற்றப்பட்ட ஜெர்மேனிய வேலையைச் செய்யவேண்டும். ஆர்சனிக் அணுவின் வெளிக்கூடில் ஐந்து எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. நான்கு எலெக்ட்ரான்களை வெளியேற்றப்பட்ட ஜெர்மேனிய எலெக்ட்ரான்களுக்குப் பதிலீடு செய்து விடுகின்றது. ஐந்தாவது எலெக்ட்ரான் வேலையில்லாமல் தனியாக விடப்படுகிறது.

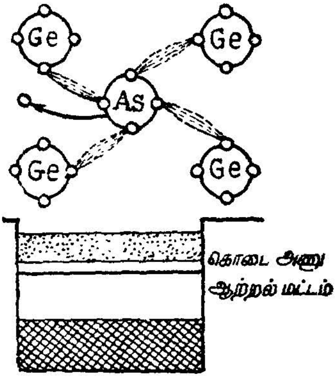
இந்த எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல், விலக்கப்பட்ட பட்டையின் உள்ளிட ஆற்றலுக்குச் சமமாகப் பட்டையின் எல்லைக்கு

அருகாமையில் உள்ளது. இதைக் கடத்தும் பட்டைக்குத் தள்ளுவதற்கு மிகக் குறைந்த ஆற்றல்-விலக்கப்பட்ட பட்டை அகலத்தின் 10 அல்லது 15-ல் ஒரு பகுதி இருந்தால் போதுமானது.

ஆர்சனிக் தாராளமாக ஐந்தாவது எலெக்ட்ரானைப் படிகத்திற்குக் கொடுத்திருப்பதால் அதை ஒரு கொடையணு எனக் கூறுவர். எலெக்ட்ரான் மட்டங்களுக்குக் கொடை மட்டங்கள்



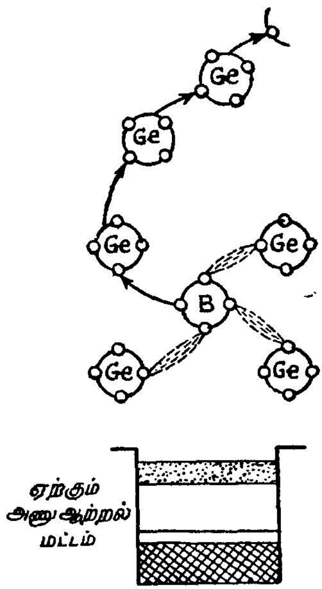
படம் 18



படம் 19

எனப் பெயர். ஆர்சனிக்குக்குப் பதில் தனிம அட்டவணையில் ஜெர்மேனியத்திற்கு இடது புறத்திலுள்ள போரான் அணுக்களை (அணு எண் 5) எடுத்துக்கொள்ளுவோம். போரான் மூன்றுவது தொகுதியைச் சார்ந்தது. இதன் வெளிக்கூடில் மூன்று எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. போரானை ஜெர்மேனிய அணுவிற்குப் பதில் அணிக்கோவையில் பொருத்தினால் அது இம் மூன்று எலெக்ட்ரான்களையும் வேதியியல் பிணைப்புகளுக்குக் கொடுத்துவிடும். மொத்தம் நான்கு பிணைப்புகளில் ஒன்று மீதியிருக்கும். இந்த பிணைப்பைப் பூர்த்திசெய்ய போரான் அணு பக்கத்திலுள்ள ஜெர்மேனிய அணுவிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரானைத் திருடி எடுத்துக்கொள்ளும். இது ஒரு தொத்துவியாதிபோல் அடுத்த அணுக்களுக்குப் பரவும். இதனால் எலெக்ட்ரானால் காலியாக்கப்பட்ட அறை நோக்கி நகர்ந்து போரான் அணுவின் இருப்பிடத்திலிருந்து விலகிச் செல்லும். இது குடிபெயர்ந்து செல்லும் துளையின் இயக்கம்போல் உள்ளது. ஆனால், இங்கு வெப்பநிலை ஏற்றத்தால் எலெக்ட்ரான் இடத்தைக் காலி செய்வதில்லை. பதிலாக போரான் அணு அவ்விதம் செய்கின்றது.

இவ் விளைவால் உள்ளிட ஆற்றல் மட்டங்கள் விலக்கப்பட்ட பட்டையில், பட்டையின் அடிப்பாகத்தில் உண்டாகின்றன. இந்த மட்டங்களை எலெக்ட்ரானுக்கு பதில் துளைகள் நிரப்பும். போரான் போன்ற எலெக்ட்ரானைத் திருடும் அணுக்களுக்கு ஏற்பிகள் எனப் பெயர். இதைச் சார்ந்த ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு ஏற்பிமட்டங்கள் எனப் பெயர். ஆகையால், மின் கடத்தல் இரண்டு வகைகளில் எலெக்ட்ரான் அல்லது மின்துளை ஏற்படுகின்றது. இது ஜெர்மேனியம் அல்லது சிலிக்கான் அணிக்கோவையில் புகுத்தப்படும் அணுவைப் பொருத்தது.



படம் 20

மின்துளை என்பது எலெக்ட்ரான் இயக்கத்தைக் காண்பிப்பதற்கு உபயோகப்படுத்தப்படும் ஒரு சௌகரியமான முறை என்பதை நினைவில் கொள்ளவேண்டும். மின்துளை கங்கா்ருபோல் கூடுகை எண் பட்டையில் அணுவிற்கு அணு தாவுவதாகக் கொண்டால், எலெக்ட்ரான் சீராக ஓடும் மனிதனைப் போல் கடத்தும் பட்டையில் செல்லும் எனக் கொள்ளலாம். கடத்தும் பட்டையில் ஆற்றல் மட்டங்கள் தனித்தனியாக இருப்பினும் அவை வெகு பக்கத்திலிருப்பதால் ஒன்றுடன் மற்றொன்று கலந்துவிடுகின்றன. இதைப்பற்றி முன்னமேயே கூறப்பட்டது.

நாம் கதைக்குத் திரும்புவோம். போரான் அணுக்களையும் ஆர்சனிக் அணுக்களையும் ஜெர்மேனிய அணுவுடன் கலந்து எவ் வகைக் கடத்தல் ஏற்படுகின்றதெனக் கண்டுபிடிப்போம். இது மாசு அணுக்களின் எண்ணிக்கையின் விகிதத்தைப் பொருத்தது. ஆர்சனிக் அதிகமானல் கடத்தல் எலெக்ட்ரானல் ஏற்படும். மாருக போரான் அதிகமானல் மின்துளையால் கடத்தல் ஏற்படும்.

கலவைகளின் வெவ்வேறு விகிதங்கள் குறைகடத்தியின் முக்கியத்துவத்தை அதிகரிக்கின்றது. இவ்விதம் இரண்டு வகை மாசுகளை உடைய குறைகடத்திகள் ஒன்றுசேர்ந்து மின்னோட்டத்தை ஒரு திசையில் தடுத்து எதிர்த் திசையில் செலுத்தும். அதாவது, குறைகடத்திகள் திருத்திகளாக வேலை செய்கின்றன. குறைந்த மின்னழுத்தத்தை அதி மின்னழுத்தமாக மாற்றும்

தன்மையும் குறைகடத்திகளுக்குண்டு. (மின் தடையைக் கட்டுப்படுத்தும் தன்மையால் இது ஏற்படுகின்றது.) அதாவது, குறைகடத்திகள் பெருக்கிகளாக இயங்கலாம். மிகச் சிறிய, குறுகிய பரிமாணமுடைய, உறுதிவாய்ந்த, சிக்கனமான குறைகடத்தி சாதனங்கள், பெரிய சிக்கலான எலெக்ட்ரான் வால்வுகளை வெற்றிவாகை சூடியிருக்கின்றன.

குறைகடத்திகளைத் தாக்கும் ஃபோட்டான்கள் கூடுகை எண்பட்டையிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை வெளியேற்றும். ஆகையால், குறைகடத்திகளின்மேல் ஒளி செலுத்தப்பட்டவுடன் அதில் மின்னோட்டம் ஏற்படுகின்றது. குறைகடத்திகள் ஒளி ஆற்றலை மின் ஆற்றலாக மாற்றும் தன்மையுடையவை என இதிலிருந்து புலப்படுகின்றது. உலோகத்தைவிட நேர்த்தியாக இப்பணியைக் குறைகடத்திகள் செய்கின்றன. சோவியத் விஞ்ஞானி A. ஆயோஃப் (A. Ioffe) மற்றும் அவர் கூட்டாளிகளும் இம் முயற்சியின் வழிகாட்டிகளாக விளங்கினர்.

பாலைவனத்தின் அதிதீவிரமான சூரியகிரணங்களை மின்சாரமாக மாற்ற சிலிக்கான் மின்கலங்கள் உபயோகப்படுகின்றன. இம் மின்சாரத்தைக்கொண்டு பாலைவனத்தில் மோட்டார்களை இயங்கச்செய்து நீர்ப்பாசனம் செய்யவும் குடிக்கத் தேவையான தண்ணீரைக் கொண்டு செல்லவும் உபயோகப்படுத்தலாம். வான வெளி ஆராய்ச்சியிலும் குறைகடத்தி மின்கலங்கள் பயன்படுகின்றன.

வெப்ப ஆற்றலை நேராக மின் ஆற்றலாக மாற்றும்தன்மை குறைகடத்திகளுக்குண்டு. சிக்கல் நிறைந்த நீராவி எந்திரங்கள் இனித் தேவையில்லை எனக்கூறலாம். நீராவி எந்திரத்தில் வெப்பம் நீரை ஆவியாக மாற்றுகின்றது. பிறகு நீராவி டர்பைன் என்ற பாகத்தை இயங்கச்செய்து மின்சாரத்தைத் தயாரிக்கின்றது. இவ்விதம் மின்சாரம் தயாரிப்பது குறைந்துகொண்டே வருகின்றது. இன்னும் சில காலங்களில் இது முற்றிலும் மறைந்து விடுமெனக்கூடக் கூறலாம். இதற்கிடையில் குறைகடத்திகள் வெப்பமின் ஓயற்றியாக வேலைசெய்து மண்ணெண்ணெய் விளக்குகளின் வெப்பத்தை மின்சாரமாக மாற்றுகின்றது. சில சமயங்களில் இயங்கும் பாகங்களில்லா குளிர்பதனப் பெட்டியாகவும் உபயோகப்படுகின்றது. மேலே கூறியவைகள் குறைகடத்தியின் ஒரு சில உபயோகங்கள். இது குறைகடத்தியின் தொடக்கக் காலம் என்றும் புகழ்சார்ந்த எதிர்காலம் இதற்குண்டு என்றும் கூறலாம்.

அணுக்கருவிற்குள்

நுழைவாய்

அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் மற்றும் படிகங்கள்? அடுத்தது எது? குவான்டம் எந்திரவியல் அடுத்ததாக நம்மை அணுவின் ஆழ்ந்த ஆழத்திற்கு அதாவது, அணுக்கருவிற்குள்ளே எடுத்துச் செல்கின்றது. இங்கும் அநேக அதிசயங்கள் காத்திருக்கின்றன. இருபதாம் நூற்றுண்டின் ஆரம்பத்தில் ஒருவரும் அணுக்கருவைப் பற்றிச் சிந்திக்கவில்லை. இயற்பியல் மேதைகள்மட்டும் இதைப் பற்றி அறிய ஆர்வமுடையவர்களாக இருந்தனர். அணுக்கருவைப் பற்றிய ஆராய்ச்சி அநேக வகைகளில் நமக்கு நன்மையை உண்டாக்கலாம். குவான்டம் எந்திரவியல் அணுவைப்பற்றி ஆராய்ந்து வெற்றிகொண்ட காலமது. அதே சமயத்தில் அணுக் கருவைப்பற்றிப் போதிய உண்மை தெரிந்திராத காலம். தெரிந்த சில உண்மைகளைப்பற்றி முதலில் எடுத்துக் கொள்ளுவோம்.

பத்தொன்பதாவது நூற்றுண்டின் இறுதியில், ஃபிரெஞ்சு விஞ்ஞானி புக்காரல் தற்செயலாக ஒரு புதிய விளைவைக் கண்டு பிடித்தார். சில பொருள்கள் ஒளியைப்போல் புகைப்படத்தட்டை கருமையாக்கும் தன்மையுடையவை என்று அறிந்தார். இதைத் தொடர்ந்து மேரி ஸ்லோடவாஸ்கியும், பியரி க்யூரியும் ஒன்று சேர்ந்து, ரேடியம், புலோனியம் மற்றும் யூரேனியம் என்ற மூன்று தனிமங்களுக்கு (தனிம அட்டவணையின் இறுதியில் இருக்கும்)இந்த குணம் உண்டு என்று கண்டுபிடித்தார்கள். இவ் விளைவிற்குக் கதிர் வீச்சு எனப் பெயர். இதற்குத் தக்க விளக்கம் முதுபழங் கொள்கை யில் கிடைக்கவில்லை. இதுபற்றித் தத்துவ அறிஞர்கள் வியந்தனர். இதற்கிடையில் இக் கதிர்வீச்சின் சில பண்புகள் தெரியவந்தன. ஆல்ஃபா, பீட்டா மற்றும் காமா என்று மூன்று வகைக் கதிர்வீச்சு கள் உள்ளன. ஆல்ஃபாக் கதிர்வீச்சுகள் நேர்மின்னூட்டம் கொண்டவையென்றும் எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தைப்போல் இருமடங்கு மின்னூட்டமுடையதென்றும் தெரியவந்தது. பீட்டா கதிர்கள், எலெக்ட்ரான்களிலிருந்து பாகுபடுத்தி அறிய

முடியாதவாறு இரண்டும் ஒரே குணமுடையதாக இருந்தன. காமாகதிர்கள் மிகவும் உறுதி வாய்ந்த கதிர்வீச்சாக இருந்தது. இதன் ஊடுருவும் தன்மை எக்ஸ்கதிரைவிடப் பன்மடங்கு அதிகம்.

இது கண்டுபிடித்த சில வருடங்களுக்குப் பிறகு ரூதர்ஃபோர்ட், அவர் சீடர் போர் இருவரும் சேர்ந்து அணுவிற்கு வானியல் கோள அமைப்பு மாதிரியைக் கொடுத்தனர். சூரியனை மையமாகக் கொண்டு கோளங்கள் வலம் வருவதுபோல், அணுக்கருவை மைய மாகக்கொண்டு எலெக்ட்ரான்கள் வலம் வருகின்றன எனக் கூறினார். இதிலிருந்து படிப்படியாக ஆராய்ச்சிகள் செய்யப் பட்டது. கடைசியில் கதிர்வீச்சு அணுக்கருவிலிருந்து தோன்று கின்றதென்ற முடிவிற்கு வந்தனர்.

ஆல்ஃபா கதிர்களைப் பொருத்தவரையில் ஆரம்பத்திலிருந்தே இது தெளிவாகயிருந்தது. அணுவின் மொத்த நிறையையும் நேர்மின்னூட்டத்தையும் கொண்ட அணுக்கருவைத்தவிர வேறு இருப்பிடம் ஆல்ஃபா கதிர்களுக்கு இருக்கமுடியாது. ஆனால், எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவிற்கு வெளியில் உள்ளன. மேலும், சில சமயங்களில் ஃபோட்டான்கள் (மின்காந்த ஆற்றலின் குவான்டங்கள்) வெளிக்கூடுகளிலிருந்து வெளியேறுகின்றன. ஆகையால், பீட்டா, காமா கதிர்கள் அணுக்கருவிற்கு வெளியி லிருக்கும் கூடுகளிலிருந்து வெளிப்படலாம் என்ற சந்தேகம் எழும்பிற்று.

இவ்விதம் இருக்கமுடியாதெனப் பிறகு தெளிவாயிற்று. ஏனெனில் பீட்டா கதிர்களை வெளிவிட்டவுடன் அணு அயனியாக மாறுவதில்லை. அதன் நேர்மின்னூட்டமும் அதிகமாவதில்லை. ஆகையால், அணுவின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் மாற்றமில்லை. மேலும், கண்ணுக்குப் புலப்படும் ஒளி, X-கதிர்கள் இவற்றிலிருந்து தோன்றத் தேவையான ஆற்றலின் மதிப்பு, காமா கதிரின் ஆற்றலின் வெகு சிறிய பகுதியெனக் கணக்கிடப்பட்டது. இவற்றி லிருந்து இரண்டு கதிர்வீச்சுகளும் அணுக்கருவிலிருந்துதான் தோன்றவேண்டுமென உறுதியாயிற்று.

சில ஆண்டுகள் கடந்த பிறகு, ரூதர்ஃபோர்ட் மேலும் ஓர் உண்மையை வெளிப்படுத்திஇயற்பியல் மேதைகளின் சிந்தனையைத் தூண்டிவிட்டார். ரேடியம் கதிர்வீச்சிலிருந்து கிடைக்கும் ஆல்ஃபா கதிரின் பாதையில் நைட்ரஜன் அணுவைவைத்து இரண்டிற்கும் ஏற்படும் மோதலின் விளைவினைப் புகைப்படம் எடுத்தார். புகைப் படத்தின் உதவியால் ஆக்சிஜன் அணு தோன்றும் வியக்கத்தக்க செய்தியை வெளியிட்டார். ரஸவாதிகளின் கனவு நனவாயிற்று. ஒரு தனிமம் மற்றொன்றாக மாற்றப்பட்டுவிட்டது. அதே

வருடத்தில் மேலும் ஓர் உண்மை தெரியவந்தது. ஒரே தனிமத்தின் அணுக்கருக்கள் வெவ்வேறு நிறையுடையதாக இருக்கமுடியுமெனக் கண்டறிந்தார். இவ்வித அணுக்கருக்களின் நிறை வித்தியாசத்தின் மதிப்பு ஹைட்ரஜன் அணு நிறையின் முழு எண்மடங்குகளாக இருந்தன. இப்பேர்ப்பட்ட அணுக்களுக்கு **ஐசோடோப்புகள்** எனப் பெயர்.

முதல்படி

கதிரியக்கமும் அணுக்கருக்களின் மாறுதலும்; பின்பு ஐசோடோப்புகள்—நிச்சயமாக இப்பொழுது அணுக்கருவின் ஆக்க அமைப்பைப்பற்றிய கொள்கையை நிர்ணயிக்கும் முதல்படி ஏற நேரம் வந்துவிட்டது. தொடக்க உண்மைகள் இங்கிருக்கின்றன. மேலும், ஏற்கெனவே பலனளித்த குவான்டம் எந்திரவியலையும் பயன்படுத்தலாம்.

ஆனால், கொள்கையளவு ஆராய்ச்சியாளர்கள் அவசரப்படவில்லை. அவர்கள் முக்கிய காட்டிற்கு எல்லைப்புறத்திலேயே நின்று அதனுள் ஏற்படும் முணுமுணுத்தல்களைக் கேட்டுக்கொண்டும் மணத்தை நுகர்ந்துகொண்டுமிருந்தார்களே தவிர உட்செல்லப் பயந்தார்கள். குழந்தைப்பருவமே அடைந்துள்ள குவான்டம் எந்திரவியலை புதியதும் கடினமுமான சூழ்நிலைகளுக்குட்படுத்த அவர்கள் தயாராக இல்லை.

செய்முறையாளர்கள்தான் இக் காட்டிற்குள் ஒரு பாதையை உண்டாக்கவேண்டுமென்று இவர்கள் விரும்பினார்கள். இதற்கு அதிக காலம் பிடிக்கவில்லை. சட்விக் (Chadwick) என்ற ஆங்கிலேயர் 1932ஆம் ஆண்டில் நியூட்ரானைக் கண்டுபிடித்தார். இப்பொழுது அவர்கள் தம் பயணத்தைத் தொடங்கலாம்.

அடிப்படையான ஒன்று தெளிவாக இல்லை. அணுக்கரு எத் துகள்களால் ஆனது? பல பாகங்களின் சேர்க்கையே அணுக்கரு என்ற உண்மை வெளிப்படை. ஏனெனில், கதிரியக்கத்தில் துகள்கள் அணுக்கருவிலிருந்து பாய்ந்து வெளிவருவதையும் அதே சமயத்தில் அணுக்கரு அதிக மாற்றமின்றி தொடர்ந்து நிலைத்திருந்ததையும் பார்த்தோம். தற்செயலாக, புரோட்டான் ஒரு அணுக்கருத் துகள் என்று திட்டமாக நிரூபிக்கப்பட்டது.

கதிரியக்கச் சிதைவின்போது வெளிவரும் துகள்களே கருவில் இருக்கலாம் என்று நாம் யூகிக்கலாம். அவை ஆல்ஃபாத் துகள்களும் எலெக்ட்ரான்களுமே. ஆனால், இது மிகவும் எளிமையான ஓர் ஊகமாகும். ஆல்ஃபாத் துகள்கள் ஹீலியம் கருக்களின் பண்புகளையே பெற்றிருப்பதுபோல் தோன்றுகிறது. இவற்றைவிட

இலேசான ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்கள் இருக்கின்றன. எனவே, அணுக்கரு மாளிகை ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு என்கிற கல்லால் கட்டப்படுகிறது. இதுவே மிகவும் எளிய துகளாகையால் இதற்கு புரோட்டான் (proton) என்ற கிரேக்கப் பெயரிடப்பட்டது.

இப்பொழுது அணுக்கருவின் மாதிரியை அமைக்கத் தொடங்குவோம். அடிப்படையான ஒரு விதியை நாம் கணக்கிலெடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். அதாவது, அணுக்கருவில் உள்ள நேர்மின்னூட்டம், புற எலெக்ட்ரான்களின் மொத்த எதிர் மின்னூட்டத்தின் எண்மதிப்பிற்குச் சமமாகும். அப்படியில்லையெனில் அணுமின்னூட்டத்தைச் சமநிலையில் வைத்திருக்க இயலாது. அணுக்கருக்களின் பொருண்மையையும் நாம் அறிவோம். கிட்டத்தட்ட அவை அணுவின் பொருண்மையிலிருந்து எலெக்ட்ரான் மண்டலங்களின் பொருண்மையைக் கழித்தால் கிடைக்கும் மதிப்பைக் கொண்டவை.

இதுவே தொடக்கத்திற்கு வேண்டிய புனைவு கோலாகும். அணுக்கருவில் புரோட்டான்களும் எலெக்ட்ரான்களும் உள்ளன. ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவில் ஒரு புரோட்டான்மாத்திரமே யுண்டு. எலெக்ட்ரான்களே இல்லை. ஹீலியம் அணுக்கருவில் நான்கு புரோட்டான்களும் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களும் இருக்கின்றன. அதனுடைய மின்னூட்டம் $+4-2=+2$, அதனுடைய பொருண்மை நான்கு ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்களின் பொருண்மையைவிட சிறிதளவே அதிகம். புரோட்டான் பொருண்மையையும் எலெக்ட்ரான் பொருண்மையையும் ஒப்புநோக்குமிடத்து, எலெக்ட்ரான் பொருண்மையற்றது என்றே சொல்லலாம். தோராயமாக 2,000 மடங்கு இலேசானது !

தொடர்ந்து பார்ப்போம். லிதியம் (lithium) அணுக்கரு பொருண்மை 7, மின்னூட்டம் + 3, 7 புரோட்டான்கள், 4 எலெக்ட்ரான்களால் ஆனது. போரோன் (boron) அணுக்கரு பொருண்மை 11, மின்னூட்டம் + 5, 11 புரோட்டான்கள், 6 எலெக்ட்ரான்கள் கொண்டது. நைட்ரஜன் (பொருண்மை 14, மின்னூட்டம் + 7) அணுக்கரு 14 புரோட்டான்கள், 7 எலெக்ட்ரான்கள் இவற்றால் அமைந்தது. ஆக்ஸிஜன் (பொருண்மை 16, மின்னூட்டம் + 8) அணுக்கரு 16 புரோட்டான்கள் 8 எலெக்ட்ரான்கள் இவற்றைத் தன்னுள்ளேகொண்டது. இப்படியே மற்ற எல்லா அணுக்கருக்களுக்கும் அமையும்.

எல்லாமே இயல்பாக அமைந்திருக்கிறமாதிரி தோன்றுகிறது. ஆனால், இது வெறும் தோற்றமே. இலேசான அணுக்கருக்களை

மாத்திரமே கருதிப்பார்த்தால், எல்லாம் சரியாகப் பொருந்துகின்றன. ஆனல், மிதமான கனமும் அதிக கனமும் கொண்ட அணுக்கரு அமைப்புகளை ஆராய்ந்து பார்க்குமிடத்து பொருத்தம் சிதைந்துவிடுகிறது. உங்கள் தீர்ப்புக்கே விடுகிறோம். இரும்பு அணுக்கருவின் பொருண்மை 56 (இதைச் சரியாக சொல்லவேண்டுமெனில் பொருண்மை எண் அல்லது நிறை எண் எனலாம். குறிப்பிட்ட அணுக்கருவின் பொருண்மை புரோட்டானின் பொருண்மையைவிட எத்தனைமடங்கு பெரியது என்பதைக் காட்டுகிறது), மின்னூட்டம் + 26, இதற்குத் தேவைப்படுவன 56 புரோட்டான்களும், 30 எலெக்ட்ரான்களும். யுரேனியம் அணுக்கருவின் பொருண்மை எண் 238, மின்னூட்டம்+92, இதற்கு 238 புரோட்டான்களும், 146 எலெக்ட்ரான்களும் தேவைப்படுகின்றன.

ஒவ்வொரு புது அணுக்கருவிற்கும் இயற்கை ஒரு புரோட்டானை மாத்திரமல்ல, அநேக புரோட்டான்களை அதோடு சேர்க்கிறது என்று எதிர்ப்பார்ப்பது சரியாகவே இருக்கிறது. இக் கருத்தை நிராகரித்தால் அணுக்கருக்களின் நிறைகளிலும் மின்னூட்டங்களிலும் இடர்பாடு ஏற்படுகிறது. இதன் காரணமாக அணுக்கரு அமைப்பின் ஒழுங்கு சிதைந்துவிடுகிறது. ஐசோடோப்புகள் எவற்றிலிருந்து உண்டாக்கப்படுகின்றன என்ற ஆய்விலும் இடர்பாடு ஏற்படுகிறது. அணுக்கரு சுழற்சிகளைக் கணக்கிடுவதிலும் தொடக்கத்திலிருந்தே சிக்கலேற்படுகிறது. அவற்றின் மொத்த சுழற்சி, அணுக்கருவின் அங்கமான துகள்களின் சுழற்சிகளின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமம். உதாரணமாக கனமான ஹைட்ரஜனின்(ட்யூடிரியம்) அணுக்கரு, இம் முறையால் கருதிப்பார்ப்போமாகில், இரண்டு புரோட்டான்களாலும் ஓர் எலெக்ட்ரானலும் உண்டாக்கப்பெறும். அதனுடைய மொத்த சுழற்சி குறைந்த அளவு மூன்று புரோட்டான்களின் சுழற்சிகளுக்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும்(புரோட்டானுக்கும் எலெக்ட்ரானுக்கும் உள்ள சுழற்சிகள் சமமானவை.) உண்மையில் அது இரண்டு புரோட்டான்களின் சுழற்சிகளுக்குச் சமம்! இந்த ஒரே முரண்பாடுதான் என்று இல்லே. மாருக, இம் முறையால் கணக்கிடப்பட்ட சுழற்சிகளுக்கும் செய்முறையால் அளவிடப்பட்ட சுழற்சிகளுக்கும் உள்ள ஒருங்கிசைவு மிகச் சொற்பமே.

ஆகவே, இம் மாதிரியான அணுக்கருவின் அமைப்பில் ஏதோ குறைபாடு இருக்கிறது.

நிச்சயமாக! அணுக்கருவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் வேலை அணுக்கருவின் மின்னூட்டத்தை உயர்த்தி செய்முறையால் காணப்பெற்ற அளவிற்குக் கொண்டு வருவதேயாகும். ஆனல்,

அவற்றுக்கு மேலும் ஒரு சிறப்பானதொழில் இருக்கிறது. நேர் மின்னூட்டங்களைப் பெற்றுள்ளதால் புரோட்டான்கள் ஒன்றையொன்று எதிர்ப்புவிசையால் விலக்கிக்கொள்ளும்-அணுமண்டலங்களில் எலெக்ட்ரான்கள் ஒன்றையொன்று விலக்கிக்கொள்வதைப் போலப் புரோட்டான்களை ஒன்ருகப் பிணைப்பதற்கு எலெக்ட்ரான்கள் தேவைப்படுகின்றன.

அணுக்கரு அமைப்பில் நாம் கடைப்பிடித்த முறையினுல் கிடைக்கப்பெற்ற எலெக்ட்ரான் பசையைவிட மிக அதிக அளவு தேவைப்படும் என்று சிறு கணக்கீடு காண்பிக்கிறது. அணுக்கருவில் எலெக்ட்ரான்கள் இருப்பதற்கு இதைவிட இன்னும் வலிவான, நிச்சயமான தடைகள் இருக்கவே செய்கின்றன. இதைப்பற்றிப் பின்னுல் பேசுவோம்.

கொள்கையளவு ஆராய்ச்சியாளர்கள், அணுக்கருக்களில் புரோட்டான்களும் எலெக்ட்ரான்களும் இருப்பதில், தீவிரமான சந்தேகங்களை இக் கட்டத்தில் கொண்டிருந்தனர். பின்பு நியூட்ரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அதே 1932ஆம் ஆண்டில், வெர்னர் ஹைசன்பர்க்கும் (Werner Heisenberg) சோவியத் இயற்பியல் அறிவாளர்கள் D. ஐவனென்கோ (D. Ivanenko) வும், I. டாம் (I. Tamm) என்பவரும் அணுக்கருக்கள் புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள் மாத்திரமே கொண்டு அமைக்கப் பெற்றவை என்ற வலிவான, கணக்கியல் அடிப்படைகொண்ட அனுமானத்தைக் கொண்டு முன் வைத்தனர். முதல்படி அடையப்பெற்றது.

இரண்டாவது படி

எலெக்ட்ரான் மண்டலங்களை அமைப்பதில் இயற்கை எவ்வித சிக்கனத்தைக் கடைப்பிடித்ததோ அதே அளவு சிக்கனத்தை அணுக்கரு அமைப்பிலும் கடைப்பிடித்தது. ஒரே ஒரு மாறுபாடு என்னவென்ருல், அணுக்கரு அமைப்பில் இரண்டு கட்டிடக்கற்கள் புரோட்டான், நியூட்ரான் என்ற இரண்டு துகள்கள் இருக்கின்றன.

ஒரு புது புரோட்டான் அணுக்கருவில் சேர்க்கப்படும் ஒவ்வொரு முறையும், ஒன்றுக்கொன்று எதிர்ப்பு விசையால் அணுக்கரு சிதைந்து போகாமல் இருப்பதற்கு வேண்டிய வழி வகைகளை இயற்கை கவனத்தில் கொண்டது. இலேசான தனிமங்களில் (ஏறக்குறைய கால்சியம் வரை, No. 20) அணுக்கருவில் புரோட்டான், நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ஏறக்குறைய சமம். அதற்குமேல், நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை புரோட்டன்களின் எண்ணிக்கையைவிட அதிகமாக வளர ஆரம்பித்து, வித்தியாசம் மேலும் தொடர்ந்து அதிகரித்தது. அணு எண் அதிகரிக்க

வித்தியாசமும் அதிகரித்தது. யுரேனியம் அணுக்கருப் பொருண்மை எண் 238. இதில் 92 புரோட்டான்களும், 146 நியூட்ரான்களும் இருப்பதைக் காண்கிறோம்.

அணுக்கரு அமைப்பு நிலேத்திருப்பதைக்கண்டு தன் நிர்மாண அமைப்பில் இயற்கை வெவ்வேறுன உத்திகளைக் கையாள ஆரம் பித்துச்சில நியூட்ரான்களே ஆங்காங்கே கூட்டுவதும் குறைப்பது மாகச் செயல்பட ஆரம்பித்தது. இதன் விளைவு ஐசோடோப்புகள் அதாவது ஒரு தனிமத்தில் வெவ்வேறு வகைகள். எடுத்துக் காட்டாக, டின்(tin) அணுக்கருவில், பத்துவித நிலேத்த ஐசோ டோப்புகள் இருக்கின்றன.

அணுக்கருக்களின் பொருண்மை, மின்னூட்டம் இவற்றைப் பற்றிய புள்ளிவிவரங்கள் ஐசன்பர்க்-ஐவனென்கோ-டாம் இவர் களின் அனுமானத்திற்கேற்ப நல்லமுறையில் பொருந்தியிருப்பதை உடனடியாகப் பார்க்கலாம். இக் கொள்கையின்படி ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு ஒரே ஒரு புரோட்டானேயும், ஹீலியம் அணுக்கரு, பொருண்மை எண் 4 (ஹீலியம்-4) இரண்டு புரோட்டான் களேயும் இரண்டு நியூட்ரான்களேயும், லிதியம்-7 அணுக்கரு 3 புரோட்டான்களேயும், 4 நியூட்ரான்களேயும், போரோன்-11 அணுக்கரு 5 புரோட்டான்களேயும், 6 நியூட்ரான்களேயும், நைட் ரஜன்-14 அணுக்கரு, 7 புரோட்டான்களேயும் 7 நியூட்ரான்களேயும், ஆக்ஸிஜன்-16 அணுக்கரு, 8 புரோட்டான்களேயும் 8 நியூட்ரான் களேயும் கொண்டவைகளாக இருக்கின்றன. இவ் விதமாக எல்லாத் தனிமங்களின் புரோட்டான் எண்ணிக்கையையும் நியூட்ரான் எண்ணிக்கையையும் அடையப்பெறலாம்.

தனிமங்களின் மடக்குநிலே அட்டவணை கடைசிவரையில் இதே முறையைப் பின்பற்றி அணுக்கருத் துகள்களின் எண்ணிக் கையைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல முடியும்.

நியூட்ரானேப்பற்றி நாம் அறிந்தது என்ன? இத் துகளின் நிறை புரோட்டானின் நிறைக்கு ஏறக்குறைய சமம். அதன் பெயர் குறிப்பிடுவதுபோன்று அது மின்னூட்டச் சமநிலேயில் இருக்கிறது- அது மின்னூட்டம் அற்றது.

அணுக்கருவில் எலெக்ட்ரானின் இருப்பிடத்தை ஆக்கிரமிப் பதற்கு அதற்குள்ள உரிமைதான் என்ன? புரோட்டான்களே ஒரு மிக்கச் சேர்ப்பதில் குறைந்தவளவாவது எலெக்ட்ரானுல் முடியும். இப் பணியைச் செய்ய மின்னூட்டமற்ற நியூட்ரானுல் எவ்வாறு முடியும்?

அணுக்கருவின் நிலைச்சமநிலைக்கு மின்சார்ப்புவிசை மாத்திரம் போதுமானதல்லவென்று இக் கட்டத்தில் நாம் அறிகிறோம். அணுக்கருக்கள் உண்மையிலேயே கடினமான கொட்டைகள். மிகப்பெரிய அழுத்தத்தைச் செலுத்தியோ, அதிகமான வெப்பநிலை ஏற்படுத்தியோ, கற்பனைக்கெட்டாத மிகப்பெரிய அளவு மின் புலத்தைச் செலுத்தியோ வேதியியல் முறையில் செய்யப்பட்ட எந்தவித முயற்சியும் அணுக்கருக்களைச் சிதைப்பதில் வெற்றி பெறவில்லை. அணுக்கரு புற எலெக்ட்ரான் மண்டலங்களை எதிர்த்து இந்த ஆயுதங்களெல்லாம் வெற்றிபெற்றன என்பது குறிப்பிடத்தகுந்தது.

ஆகவே, அணுக்கருவில் நியூட்ரான் இருப்பதற்கு ஒரு குறிப் பிட்ட காரணம் இருக்கிறது என்று இயற்பியல் அறிவாளர்கள் முடிவுகட்டுகிறார்கள். அணுக்கருவில் புரோட்டான்களை ஒரு மிக்கச் சேர்க்கும் பிசின்போன்று நியூட்ரான்கள் செயலாற்று கின்றன. ஆனால், எவ் விசையினால் என்று நாம் கேட்கிறோம். அது மின்விசையாக இருக்கமுடியாது; ஏனென்றால், நியூட்ரான் மின்னூட்டச் சமநிலைகொண்டது.

கொள்கை அளவு ஆராய்ச்சியாளர்கள் இப் பிரச்சினையை ஆராயத் தலைப்பட்டனர். நியூட்ரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இரண்டு வருடங்கள் கழித்து ஐ. டாம்மும் ஜப்பானிய இயற்பியல் அறிவாளரான யுகாவாவும் ஒரு சாதுர்யமான கருத்தை வெளி யிட்டனர். இதன்படி மிகக் குறைந்த எல்லையைக் கொண்டுள்ள வெகு வலிவான குறிப்பிட்ட விசைகளான பரிமாற்ற சார்ப்பு விசைகள் புரோட்டான்-நியூட்ரான்களிடையே செயல்படு கின்றன.

பரிமாற்ற விசைகளா? இது பழக்கமான சொல்லாயிற்றே. இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களையும் அல்லது நைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன் போன்ற பல நிலைத்த தன்மைகொண்ட மூலக்கூறுகளை ஒருமிக்கச் சேர்க்கும் விசைகள் அவைகளேயாகும். இந்த மூலக் கூறுகளில் அணுக்கள் தொடர்ந்து எலெக்ட்ரான்களைப் பரிமாற்றம் செய்து கொள்வதால்தான் அணுக்கள் ஒருங்கே சேர்ந்திருக் கின்றன.

ஆனால், எவ்வகைப்பட்ட பரிமாற்றம் அணுக்கருக்களில் இருக்கிறது? புரோட்டானும், நியூட்ரானும் இரு வெவ்வேறான துகள்களாகும். அணுக்கருவில் எலெக்ட்ரான்கள் இல்லை. புரோட்டான்களும், நியூட்ரான்களும் எதைப் பரிமாற்றம் செய்து கொள்கின்றன. எலெக்ட்ரானைப் பரிமாற்றம் செய்துகொள்வதாக

மிகச் சிறிய அளவு அணுக்கவர்ச்சிவிசை கிடைக்கப்பெறுமென்று ஐ. டாம் செய்த கணக்கீடு ஒன்றின்மூலம் தெரியவருகிறது.

இரண்டு வழிகள் நமக்குத் திறந்திருக்கின்றன. ஒன்று பரிமாற்றக் கருத்துகள் தவறானவை என்று கைவிட்டுவிட வேண்டும் அல்லது வெளித்தோற்றத்தில் புரோட்டானும், நியூட்ரானும் மாறுபட்டவைகளாக இருப்பினும் உண்மையிலேயே இத்துகள்கள் ஒன்றுக்கொன்று வெகுவாக மாறுபட்டவையல்ல, இவற்றுள் சில பண்புகள் பொதுவாக அமைந்திருக்கின்றன என்று தைரியமாக அடித்துச் சொல்லவேண்டும். அவை ஒன்றுக் கொன்று மாற்றிக்கொள்ளும் தன்மையுடையவை. புரோட்டான் நியூட்ரானாகவும், நியூட்ரான் புரோட்டானாகவும் மாற்றிக் கொள்ளும்.

இது உண்மையிலேயே மிகத் துணிச்சலான கருத்தாகும். 1934ஆம் ஆண்டில் இக் கருத்தை வெளியிடும்பொழுது, பருப் பொருளின் எளிய பகுதிகள் ஒன்றுக்கொன்று மாற்றிக்கொள்வது அதுவரை பார்க்கப்படவில்லை. இரண்டு ஆண்டுகளுக்கு முன்பு எலெக்ட்ரானும், பாசிட்ரானும் ஒன்றுசேர்ந்து காமாக் கதிர் ஃபோட்டானை மாற்றமடைந்தது நிரூபிக்கப்பட்டது உண்மையாகும். இருப்பினும் இந் நிகழ்ச்சி முற்றிலும் வேறுபட்ட இயல்புடையது.

இரண்டு துகள்களில் ஒன்று மற்றொன்றாக மாறும்பொழுது அந் நிகழ்ச்சியில் அவை ஏதோ ஒன்றைப் பரிமாற்றம் செய்துகொள் கின்றன என்பதை இயற்பியல் அறிவாளர்கள் மேலும் ஆராய்ந்து கண்டறிந்தனர். அந்த ஏதோ 'ஒன்றை'ப் புரோட்டான் பெற்றுக் கொண்டு நியூட்ரானாக மாறுகிறது. இதை நியூட்ரான் இழக்கும் பொழுது புரோட்டானாகத் தோற்றமடைகிறது. அதற்கு மேலும், வேறுவிதமான பரிமாற்றமும் இருக்கக்கூடும். அப் பரிமாற்றத்தில் புரோட்டான் இழக்கும் ஒன்றை நியூட்ரான் பெறுகிறது.

அணுக்கருக்கள் மிக நிலைத்த தன்மையுடைய அமைப்புகளைப் பெற்றுள்ளன என்ற உண்மையிலிருந்தும் மேலும் புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் இடையேயுள்ள இப் பரிமாற்று விசைகள் துகள்களுக்கிடையே மிகக் குறைந்த தூரத்திலேயே செயல்படவேண்டுமென்ற உண்மையிலிருந்தும், யுகாவா இந்த ஏதோ 'ஒன்றை' ஒரு பருப்பொருள் துகளாக உருக் கொடுத்தார். இத் துகள் புரோட்டான் மின்னூட்டத்தின் அளவிற்குச் சமமான நேர்மின்னூட்டத்தையோ அல்லது எலெக்ட்ரான் மின்னூட் டத்தின் அளவிற்குச் சமமான எதிர்மின்னூட்டத்தையோ

கொண்டதாகவும், அதன் நிறை எலெக்ட்ரான் நிறையைவிட ஏறக்குறைய 200 முதல் 300 மடங்கு கொண்டதாகவும் இருக்கக் கூடும்.

புரோட்டானும், நியூட்ரானும் ஏறக்குறைய எலெக்ட்ரான் நிறையைப்போல் 1,800 மடங்கு நிறையுடையன. எனவே, இந்த அதிசயத் துகளின் நிறை இந்த இரு நிறைக்கும் இடைப்பட்டதாக இருக்கும். ஆகையால், இத் துகளுக்கு மெசான் (meson) எனப் பெயர் கொடுக்கப்பட்டது. மெசான் என்றால் கிரேக்க மொழியில் இடைப்பட்டது என்று பொருள்.

பிறகு அணுக்கருப் பரிமாற்றத்தின் தோற்றத்தைப் பின் வருமாறு பெறுகிறோம். புரோட்டான், நேர் மின் மெசானை வெளி விட்டுத் தன்னுடைய நேர்மின்னூட்டத்தை அதனால் இழந்து, நியூட்ரானாக மாறுகிறது. நியூட்ரான் அந்த மெசானை எடுத்துக் கொண்டு புரோட்டானாக மாற்றமடைகிறது. ஆனால், நியூட்ரான் எதிர்மின் மெசானை வெளிவிட்டுப் புரோட்டானாக வேறு வழியில் மாற்றமடையக்கூடும். இவ்வாறு வெளியேறும் மெசான் புரோட்டானால் பிடிக்கப்படும்போது அந்தப் புரோட்டானை நியூட்ரானாக மற்றுமொரு வழியில் மாற்றுகிறது.

அதிசய மெசானைத் தேடும் முயற்சி

ஆனால், இந்த மெசான்கள் எங்கு உள்ளன? கதிர்வீச்சு அணுக் கருக்களைக் கொண்டு மீண்டும் சோதனைகள் நடத்தப்பட்டபோது அவை அணுக்கருக்களில் இல்லையென்பது உறுதியாக முடிவா யிற்று. அணுக்கருக்களில் மெசான்கள் இருந்திருந்தாலும்கூட அவை அணுக்கருக்களிலிருந்து ஒருபோதும் வெளியேறவில்லை. ஏதோ இந்த மெசான்கள் அணுக்கருவிற்குள்ளேயே அடக்கமான அதே சமயம் முக்கியமான வேலையைத் தாம் வெளிக்காட்டிக் கொள்ளாமலேயே தொடர்ந்து செய்ய விரும்புகின்றன போலும்!

பிறகு இயற்பியல் அறிஞர்கள் அணுக்கருத் துகள்கள்பற்றிய ஏராளமான செய்திகளின்மூலமான காஸ்மிக் கதிர்களின் பக்கம் தம் கவனத்தைத் திருப்பினர். ஓராண்டிற்குள் மெசான் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. யுகாவாவின் கணக்கீட்டிற்கு ஏற்ப மெசான் எலெக்ட்ரான் நிறையைப்போல் சுமார் 200 மடங்கு நிறையைப் பெற்றிருந்தது.

கொள்கையளவு ஆராய்ச்சியாளர்கள் இதைப் பெரிதும் மெச்சினர். புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையன என்ற கொள்கையும், கொள்கையளவிலேயே

மெசானின் கண்டுபிடிப்பும், இயற்பியல் துறையிலேயே குறிப்பிடத்தக்க சாதனைகள் !

ஆனால், இப் பெருமை நீண்டகாலம் நீடிக்கவில்லை. இந்த மெசான்கள் அணுக்கருக்களோடு எவ்விதத் தொடர்பும் கொள்ள மறுத்ததோடு, நியூட்ரான்களைப் பொறுத்த அளவில் மிகுந்த சிரத்தை அற்றதாகவும் இருந்தன. சாதாரண மின்வினை அளவிலே புரோட்டான்களுக்கு மட்டுமே மெசான்கள் பணிந்தன. இயற்பியல் அறிவாளர்கள் தளர்வுற்றனர். புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் இடையே சென்று அவற்றோடு மிகுந்த வீரியத்தோடு வினையாற்றும் துகள்களாக மெசான்கள் இருக்கமுடியுமா? நிச்சயமாக இயற்கைக்கு மாறான இத் துகளால் முடியாது என்பது வெளிப்படை. இதுவே இவர்களின் வாதம். எனவே, இன்னும் ஆய்வு தொடர்ந்து முன்னேறவேண்டும்.

இம் முறை, இயற்கை அறிவாளர்களோடு உண்மையிலேயே நெடுங்காலம் மறைந்து - தேடும் (hide and seek) விளையாட்டை மேற்கொண்டது. அணுக்கரு அமைப்பின் சிறப்பான உண்மைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அணுக்கரு ஆற்றல் வெளிப்படும் இரகசியத்தைக் கண்டறிந்தனர்; முதல் முறையாக அணு உலைகளும் அணுக்குண்டுகளும் நிறுவப்பட்டன; இருப்பினும் இதுவரை புலப்படாத இத் துகள், உணரப்படாமல் தப்பித்து வந்தது. புகழ்மிக்க காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சியாளர் பவல் (Powell) என்பவரால் 1947ஆம் ஆண்டில் இதைப் பிடிக்க முடிந்தது.

இத் துகள், மெசானாக இருந்தபோதிலும் 207 எலெக்ட்ரான் நிறையைக் கொண்ட மெசானாக இல்லாமல் 273 எலெக்ட்ரான் நிறை கொண்ட வேறுவகை மெசானாக இருந்தது. இம் முறை இதில் எவ்விதப் பிழையும் இல்லை. இப் புதிய மெசான்(mu-மெசானினின்றும் வேறுபடுத்திக் காட்ட இது pi-மெசான் என்று வழங்கப்பட்டது.) அணுக்கருத் துகள்களோடு வலிமையுடன் செயல்பட்டது. மிகுந்த ஆற்றலோடு பறந்து செல்லும்போது இத் துகள் அதன் வழியில் எதிர்ப்படும் அணுக்கருக்களையும்கூடப் பிளக்கவும் செய்தது.

சுருங்கக் கூறுமிடத்துப் புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் இடையே மெசான் பரிமாற்றத்தின் காரணமாக அணுக்கரு விசைகள் ஏற்படுகின்றன என்ற குவான்டம் எந்திரவியலின் யூகம் சாதுர்யமாக உறுதிப்படுத்தப்பட்டது. அதே நேரத்தில் தேவைப்படும் மெசானின் இருப்பின் சான்று சிறிதளவேனும் இல்லாதிருந்தும், மிகுந்த தன்னம்பிக்கையுடன் இயற்பியல் அறிவாளர்கள் அடர்த்தி மிகு அணுக்கரு வனத்தில் புகுந்து முன்னேற முற்பட்டனர்.

யாவற்றிலும் வலிமைமிக்க விசைகள்

புதிதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அணுக்கரு விசைகள்பற்றிய ஆராய்ச்சியில் இயற்பியல் அறிவாளர்கள் உடனே ஈடுபடலாயினர். இவ் விசைகள் மிகக் குறைந்த எல்லையில் செயற்பாடு உடையன என்பதை முதலில் கவனித்தார்கள். இதைப்பற்றி ஏற்கெனவே கூறியுள்ளோம். மூலக்கூறுகளில் பரிமாற்று விசைகள் அணுக்களின் பரிமாண அளவைக்கொண்ட அதாவது, ஒரு சென்டிமீட்டரில் நூறு மில்லியனில் ஒருபாக அளவைக்கொண்ட அணு இடைத்தொலைவில் செயல்படத் தொடங்குகின்றன. அணுக்கருப் பரிமாற்று விசைகளின் செயல்படு தொலைவு அணுவிடைத் தொலைவைவிடப் பத்தாயிரக்கணக்கான மடங்கு குறுகியது. அணுக்கருத் துகள்களின் பரிமாண அளவை ஒத்த தொலைவுகளில்தாம் இவை செயல்படத் தொடங்குகின்றன. ஆகவே, அவை அணுக்கருவிற்கு உள்ளேயே இருக்கமுடியுமே தவிர ஒருபோதும் வெளியில் செயல்பட இயலாது என்பது சரியான வாதமே.

இதுவரை கண்டுபிடிக்கப்பட்ட விசைகளில் அணுக்கரு விசைகளே வலிமை மிக்கவை. புரோட்டான்களுக்கிடையேயுள்ள எதிர்ப்பு விசை குறுகிய தொலைவில் மிக அதிக அளவினதாக இருக்கும். இதை முழுவதையும் அணுக்கரு விசை அடக்கி ஆளுவதோடல்லாமல், புரோட்டான்களை நெருக்கமாக ஒருமிக்கப் பிணைத்து நிலைத்த அமைப்பையும் கொடுக்கிறது.

மூலக்கூறுகள், அணுக்கள், அணுக்கருக்கள் ஆகிய பொருள்களின் வலிமை அல்லது நிலைத்த தன்மை இவற்றை இயற்பியல் அறிவாளர்கள் ஒரே மாதிரியாகவே அவற்றின் பிணைப்பு ஆற்றலால் விளக்குகிறார்கள். பிணைப்பு ஆற்றல் என்பது ஒருமித்த துகள்களின் தொகுதியை அதன் பகுதிகளாகச் சிதறடிக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றலேயாகும்.

தொகுதியில் துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாயின் ஆற்றலும் அதற்கேற்ப அதிகமாகத் தேவைப்படுவது இயல்பே. நிலைத்த தன்மையை விளக்க, ஒரு துகளுக்குரிய பிணைப்பு ஆற்றலைக் கருத்தில் கொள்வது வழக்கம். எலெக்ட்ரான்-வோல்ட் எனப்படும் தனி அலகுகளால் இந்த ஆற்றல் அளக்கப்படுகிறது. ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வித்தியாசமுள்ள மின்புலத்தின் வழியாகச் செல்லும் எலெக்ட்ரான் பெறும் ஆற்றல் ஓர் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் எனப்படும். பேரளவு உடைய நம் உலகத்தில் இந்த அலகு மிகச் சிறிதேயாயினும் அணு உலகத்திற்கு இது போதுமான அளவினதே.

சாதாரணச் சூழ்நிலையில் அறை வெப்பநிலையிலேயே அநேகப் பொருள்களின் மூலக்கூறுகளின் பிணைப்பு அறுபடுவதால் அத்தகைய பொருள்கள் வாயுக்களாக இருக்கின்றன. இத்தகைய மூலக்கூறுகளுக்கு இடையேயுள்ள பிணைப்பாற்றல், ஒரு மூலக் கூறுக்கு ஓர் எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டில் பல நூறு மடங்கு குறைந்த அளவினதாக இருக்கும்.

இத்தகைய மூலக்கூறுகளில் உள்ள அணுக்களைத் தனித்தனியே பிரிக்க மேலும் அதிக ஆற்றல் தேவைப்படும். அதன் அளவு சுமாராக ஓர் அணுவிற்கு 10 எலெக்ட்ரான் - வோல்ட்டாக இருக்கும். இது ஆயிரக்கணக்கிலிருந்து பத்தாயிரக்கணக்கான டிகிரி வெப்பநிலை அளவை ஒத்திருக்கிறது.

அணுக்கருத் துகள்களின் பிணைப்பாற்றல் பல மில்லியன் எலெக்ட்ரான்-வோல்ட் அளவினதாகும்! அணுக்கரு விசைகளைத் தவிர மிக வலிமை வாய்ந்த வேறு எந்த விசைகளாலும் அணுக் கருக்கள் ஏன் பாதிக்கப்படுவதில்லை என்பது இப்பொழுது தெளிவாகிறது. பல்லாயிரக்கணக்கான டிகிரி வெப்பநிலையால் இயக்கப்படும் வேகத்தில் இரு அணுக்கருக்கள் மோதினாலும்கூட அதன் விளைவானது ஓர் இரப்பர்ப் பந்து கருங்கல் சுவரில் மோதி வெளிப்படும்போது ஏற்படும் விளைவைவிட அதிகமாக ஒன்றும் இருக்காது.

அணுக்கருச் சிற்பியின் பணியை ஆராய்ந்த இயற்பியல் அறிவாளர்கள் பல்வேறு அணுக்கருக்களின் நிலைத்த தன்மையைக் கண்டறிந்து அவற்றோடு அணுக்கரு நிறை எண்களுக்குள்ள சார் பலனை ஒரு வரைபடத்தில் குறித்தனர். வரைபடத்தைச் சிறிது காணுங்கள். ஒரு மலைப்பகுதியின் தோற்றத்தைப் போன்றுள்ள சிறு மேடு பள்ளங்களை முதலில் நாம் கவனிக்கிறோம். மேடுகள் முற்றிலும் ஒழுங்கற்றனவாக நம் முதல் பார்வையில் தென்படு வதால் இந்த ஒற்றுமை மேலும் வலுவடைகிறது.

மேலும், முன்னேறுவதற்குமுன் வரைபடத்திலுள்ள கீழ் வரை கோட்டை ஒரு முறை கவனிப்போம். இது இயற்கையிலுள்ள இரசாயனத் தனிமங்களின் செறிவிற்குரிய வளைகோடாகும். இயற்பியல் அறிவாளர்கள் இதை அமைக்க, புவியியல் அறிவாளர் கள், வானியல் அறிவாளர்கள், உடற்கூறு அறிவாளர்கள் ஆகியோரைக் கலந்தாலோசிக்க வேண்டியிருந்தது. தனிமத்தின் செழிப்பு இயற்கையில் `கிடைக்கும் அதன் அணுக்கருக்களின் அளவைச் சார்ந்தது என்பது வெளிப்படை. இங்கு நாம் இயற்கை என்று குறிப்பிடும்பொழுது இந்தப் புவியை மட்டுமல்லாது இந்த அண்டத்தையே அதாவது, நம் கண்களுக்குப் புலப்படும்

பிரபஞ்சத்தையே அதாவது, வானியல் ஆராய்ச்சியாளர் நிறமாலை மானியின் பார்வை எட்டும்வரை உள்ள பிரபஞ்சத்தையே கருத்தில் கொள்கிறோம்.

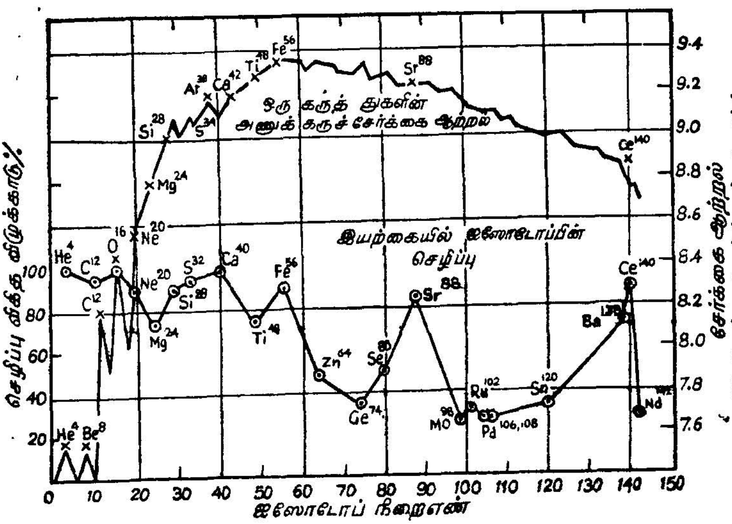
இரண்டு வளைகோடுகளை ஒப்பிட்டுப் பார்ப்போம் (படம் 21). அவற்றுள் பொதுவாக அமைந்தன யாவை? முதலில் இடக்கைப் பக்க மூலையில், மேல் வளைகோட்டின் மிக உயர்ந்த உச்சிகள், ஹீலியம்-4, கார்பன்-12, ஆக்சிஜன்-16 மேலும், பல அணுக்கருக் களுக்கு உரியவையாகின்றன. இந்த எண்கள் யாவும் நான்கின் மடங்குகளாக உள்ளன. அணுக்கருக்கள் தனித்தனியே புரோட் டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் கொண்டனவாக அமையாமல் நேரடியாகவே ஆல்ஃபாத் துகள்களையே கொண்டுள்ளனபோல் தோன்றுகின்றன. இதைச் சார்ந்துள்ள கீழ் வளைகோட்டுப் பகுதிகள் இயற்கையில் உள்ள அத் தனிமங்களின் மிக உயர்ந்த ஒப்புச் செழிப்பை 100%-க்கு அண்மையில் உள்ள ஒப்புச் செழிப்பைக் குறிப்பிடுகின்றன.

மலைப் பகுதியில் மேலும் முன்னேறிச் செல்லும்போது, மேல் வளைகோட்டில் மிக முக்கியமாகக் குறிப்பிடத்தக்க இடை வெளிகள் கீழ் வளைகோட்டின் உச்சிகளைச் சார்ந்துள்ளன என்பதைக் கவனிக்கிறோம். பொதுவாகச் சொல்லுமிடத்து, அணுக்கருக்களின் நிலைத்த தன்மை அதிகமாயின், அவற்றின் செழிப்பும் இயற்கையில் அதிகரிக்கும். அணுக்கருக்களின் உலகத் தில் இயற்கை தனக்கெனத் தனியாக இயல்பு தேர்ச்சி விதிகளை வகுத்துக் கொண்டுள்ளது என்ற முடிவிற்கு நம்மைக் கொண்டு செல்லும். வாழ்க்கைப் போராட்டத்தில் வலிமை மிக்கனவே வெற்றிபெற்று வாழ்கின்றன. நியூட்ரான், புரோட்டான் எண்ணிக்கைகள் 2, 8, 20 முதலியவற்றைக் கொண்ட அணுக் கருக்களே இயற்கையில் செழிப்பு மிக்கனவாக உள்ளன. இதற்கான காரணங்களைப் பின்னல் அணுக்கரு மண்டலம்பற்றிச் சொல்லும் போது விவரிப்போம்.

அணுக்கருக்கள் ஆல்ஃபாத் துகள்களைக் கொண்டுள்ளன என்று சொல்லுவது முற்றிலும் சரியானதல்லவென்று இங்குச் சுட்டிக் காட்ட இயலும். ஆனால், ஒன்றை நிச்சயமாகக் கூறலாம்: அணுக்கருக்களின் உலகத்திலும்கூட இரண்டு புரோட்டான்களும் இரண்டு நியூட்ரான்களும் சேர்ந்துள்ள தொகுதிகள் உண்மை யிலேயே மிகவும் நிலைப்புத் தன்மை பெற்றுள்ளன.

இந்த எண்ணிக்கையுடைய துகள்களுக்கிடையே செயல்படும் அணுக்கரு விசைகள் தெவிட்டிய நிலையை அடைகின்றன என்று

இயற்பியல் அறிவாளர்கள் கூறுகிறார்கள். இத்தகைய தொகுதி யோடு அதிகப்படியாக ஒரு புரோட்டானையோ அல்லது



படம் 21

நியூட்ரானையோ சேர்க்க முயல்வது முடியாது என்பதைக் காண் கிறோம். எடுத்துக்காட்டாக, ஹீலியம் அணுக்கரு தன்னுள் வேறு எந்தத் துகளையும் ஏற்றுக்கொள்ள மறுக்கிறது. இந்த அணுக்கரு மற்ற அணுக்கருக்களைக்காட்டிலும் மிக அதிகமான அளவு ஏற்புத் தன்மையற்றது என்பது நிச்சயம். நிறை எண் 5 (இரண்டு புரோட்டான்களும் மூன்று நியூட்ரான்களும் அல்லது மூன்று புரோட்டான்களும் இரண்டு நியூட்ரான்களும்) உடைய எந்த அணுக்கருவும் இல்லை.

விருந்தினரை ஏற்க மறுப்பதன்மூலம் ஹீலியம் குடும்பம் சுய வலிமை பெறுகிறது. ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவைத் (ஒரே புரோட்டான் மட்டும் கொண்டதால் அதில் செயல்படும் அணுக் கரு விசைகள் ஒருபோதும் இல்லை) தவிர்த்தால், ஹீலியம் அணுக் கருதான் இயற்கையில் மிகவும் நிலைப்புத்தன்மை பெற்றுள்ளது.

நிறைச்செறிவாக்கம் (saturation) என்ற விநோதமான புதிய பண்பு அணுக்கரு விசைகளுக்கு மட்டுமே உரித்தாகும். எவ்வாறு அணுக்கரு விசைகளுக்கு மின்னூட்டத்தைச் சார்ந்திராத தன்மை யுள்ளதோ அவ்வாறு நிறைச்செறிவாக்கம் என்ற பண்பும் புதுமை யாகவும் விநோதமாகவும் உள்ளது. அணுக்கரு விசைகள் மின்னூட்டத்தைப்பற்றிப் பொருட்படுத்துவதில்லை. அவை

எவ்வாறு இரு புரோட்டான்களுக்கிடையே அல்லது இரு நியூட்ரான்களுக்கிடையே செயல்படுமோ அவ்வாறே ஒரு புரோட்டானுக்கும் நியூட்ரானுக்கும் இடையே செயல்படுகின்றன. இது ஏன் அவ்வாறு நிகழ்கிறது என்பதை இயற்பியல் அறிவாளர்கள் இது நாள்வரை முழுமையாக அறிந்தனரில்லை.

அணுக்கரு நிலைப்பாடுபற்றி மீண்டும் ஒரு முறை

இந்த வலிமை வாய்ந்த அணுக்கரு அமைப்புகளை உண்டாக்கும் பரிமாற்று விசைகள், புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் ஒருமிக்கப் பிணைக்கும் ஈர்ப்பு விசைகளே. எந்த அளவிற்கு இந்த ஈர்ப்பு விசை செயல்படும்? அவற்றிற்கு எல்லைகள் இருக்க வேண்டும். இல்லையெனில் எல்லாத் துகள்களும் கலந்து ஒன்றாகி விடும்.

இயல்பாகவே, இது ஏற்பட இயற்கை விடுவதில்லை; அணுக்கருத் துகள்களுக்கிடையே உள்ள மிகக் குறைந்த எல்லைக்குள், சக்தி வாய்ந்த அணுக்கரு விசைகளை மறுக்கும். அவற்றிற்குச் சிறிதும் சக்தியில் குறைவுபடாத, எதிர்ப்பு விசைகள், துகள்கள் ஒன்றிற்குள் ஒன்று ஊடுருவிச் செல்லாமல் தவிர்க்கின்றன.

அணுக்கரு விசைகளின் செயல்படு தொலைவின் கீழ்எல்லை என்று இதைத்தான் சொல்கிறோம். ஏற்கெனவே,மேல்எல்லைபற்றிக் கூறியுள்ளோம். அணுக்கரு விசைகளின் கட்டுப்பாட்டு எல்லைக்குள் அணுக்கருத் துகள்கள் ஒன்றையொன்றுவிட்டு எவ்வளவு அதிகத் தூரம் செல்லமுடியுமோ அந்தத் தொலைவு மேல்எல்லை என்பது வெளிப்படை. இது அணுக்கருத் துகள்களின் பரிமாண அளவினை ஒத்ததே.

இது ஒரு சுவாரசியமான கருத்தாகும். ஏனெனில், பிணைப்பாற்றல் வளைகோட்டின் பொதுவான அமைப்பை இதனுல் விளக்க இயலும். மேலும், அணுக்கருக்களின் நிறைஎண் அதிகமாகும்பொழுது அந்த வளைகோடு கீழ்நோக்கி வளைவதையும் இது விளக்குகிறது. உண்மையிலேயே, ஒரு சில புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும்கொண்ட அணுக்கருவில் ஒவ்வொரு துகளும் மற்ற எல்லாத் துகள்களோடும் அணுக்கரு விசையால் பிணைக்கப்படும்.

துகள்களை நான்கு நான்காகப் பிணைப்பதை அதாவது, நிறைச் செறிவாக்கத்தை, அணுக்கரு விசைகள் ஏன் விரும்புகின்றன? இதற்கு விடை மிகவும் எளியதே. அணுக்கருத் துகள்கள் ஒன்றுக்கொன்று வேறுபடுத்தி அடையாளம் கண்டுகொள்ள இயலாதவை. எனவே, நான்கு துகள்களின் தொகுதியாகிய 'நாற் சேர்க்கை' களைப் (fours) பிரிக்க எந்த வழியுமில்லை. சோடியம், குளோரின்

இவற்றின் அயனிகளாலான படிகத்தில் முன் சொல்லிய மூலக் கூறுகளைச் சார்ந்த இரட்டைகளைத் தனிப்படுத்த முயற்சிசெய். சோடியம் குளோரைடு படிக அணுக்கோவையிலுள்ள அதே சோடியம், குளோரின் அயனிகள், முந்தைய பல்வேறு NaCl மூலக் கூறுகளில் ஒன்றுசேர முடியும் என்று முன்பே குறிப்பிட்டோம்.

அணுக்கருவில் துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க, அதன் பரிமாணமும் அதிகரிப்பது இயல்பே. இப்பொழுது, ஒவ்வொரு துகளும் தனக்கு அண்மையில் சூழ்ந்துள்ள துகள்களோடு அணுக்கரு விசைகளால் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும். ஒவ்வொரு துகளும் மற்ற எல்லாத் துகள்களோடும் 'பொதுப்' பிணைப்பைப் பெறுவதற்குப் பதிலாக, அவை ஒன்றுக்கொன்று சங்கிலித்தொடர்போன்று பிணைக்கப்படும். புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கும் போது அவற்றினூடே செயல்படும் எதிர்ப்புவிசை பொதுவாக அதிகமாகிறது. இது அணுக்கரு விசைகளை எதிர்த்துச் செயல் படுவதால் இப்பேர்ப்பட்ட அணுக்கருக்கள் தீவிரமாகத் தம் நிலைப்புத்தன்மையை இழக்க ஆரம்பிக்கின்றன.

தனிமங்களின் மடக்கு நிலை அட்டவணையின் (periodic table of elements) இறுதியில் இடம்பெறும் பெரியதும் நிறை மிக்கது மான அணுக்கருக்கள் நிலைப்பாடற்றவை. இயற்கை அத்தகைய அணுக்கருக்களைச் சுயமாகவே நிலைப்பாடடையச் செய்கிறது. கப்பல் கவிழாமல் நிலைத்து நிற்க அதிகப்படியான பொருள்களை வெளியேற்றுவதுபோல், அதிகப்படியான அணுக்கருத் துகள்களை வெளியேற்றுவதன்மூலம் இது நிகழமுடியும். அணுக்கருக்களால் வெளிவிடப்பட்ட அதிகப்படியான துகள்கள் கதிரியக்கக் கதிர் களாகும்.

அதே சமயத்தில், தனிமங்களின் மடக்குநிலை அட்டவணையில் தொடக்கத்திலும், நடுவிலும் அநேகக் கதிர்வீச்சு அணுக்கருக்கள் இடம் பெற்றிருப்பது உங்களுக்குத் தெரிந்திருக்கலாம். ஆயினும், இவற்றில் பெரும்பாலானவை மனிதனால் உண்டாக்கப்பட்டனவே தவிர இயற்கையால் அல்ல. ஏற்கெனவே நிலையாக உள்ள அணுக் கருக்களோடு அணுக்கருத் துகள்களை (அநேகமாக நியூட்ரான்களை) மோதச் செய்வதன்மூலம், மேலும் மேலும் அணுக்கருக்களின் சுமையை அதிகமாக்கி, இயற்பியல் அறிவாளர்கள் அவற்றின் நிலைப்பாட்டைத் தகர்க்கிறார்கள். முன்பு சென்றடைந்த வழியிலல் லாமல் வேறு வழியில் இத்தகைய அணுக்கருக்கள் நிலைப்புத் தன்மைக்கு மீண்டும் திரும்புகின்றன. மேலும், இவை இறுதியில் அடையும் நிலை, முன்பிருந்த நிலையைவிட வழக்கமாக வேறுபடும். அதிகப்படியான துகள்களால் (அநேகமாக நியூட்ரான்களால்),

அணுக்கருத் தகர்க்கப்படுவதால் அது எலெக்ட்ரான்களையும் காமா ஃபோட்டான்களையும் முற்றிலும் மாறுபட்ட அணுக் கருவாக மாற்றமடையும்வரை வெளிவிடுகிறது.

செயற்கைக் கதிரியக்கம் எனப்படும் இந் நிகழ்ச்சியின் அடிப் படை என்னவென்றால், எல்லா அணுக்கருக்களும் என்ன நேரினும் நிலைப்பாட்டை நோக்கியே செல்லும் இயல்பாகும். நிலைப்பாடற்ற பொருள்கள் நீண்டகாலம் நிலைத்திருக்க முடியாது. இயற்கையில் உள்ள அணுக்கருக்களின் செழிப்பு வரைபடத்தை மீண்டும் நினைவிற்குக் கொண்டுவருவோம். அணுக்கருவின் நிலைப்பாடு அதிகரிக்க அது நீண்டகாலம் நிலைத்திருக்கிறது. எனவே, அத் தனிமத்தின் செழிப்பு அதிகமாக உள்ளது என்பதை அது தெளி வாக்குகிறது.

அணுக்கருக்களில் புழல்கள் (Tunnels)

அணுக்கருக்களின் நிலைப்பாட்டை விளக்குவதற்குரிய விதிகள் மிகவும் சிக்கலானவை. முப்பது ஆண்டுகளுக்கு மேலாக அறிவாளர்களின் ஆய்வுக்குட்பட்டிருந்தும் அவை முழுவதுமாக அறிந்து கொள்ளப்படவில்லை. ஆனபோதிலும் இவ் விதிகளில் சில தங்களுடைய இரகசியங்களை இப்பொழுது வெளிவிடுகின்றன.

முதலில் வெளிவந்தது ஆல்ஃபாக் கதிரியக்கம் அல்லது அணுக் கருவில் ஆல்ஃபாச் சிதைவு. ஆல்ஃபாத் துகள்களின் நிலைப்பாடு பற்றிய அடிப்படைக் காரணத்தை அறிவாளர்கள் ஏதும் அறியாத போதிலும், நியூட்ரான் கண்டுபிடிப்பதற்கு முன்பே இது கண்டு பிடிக்கப்பட்டது.

ஆகவே, நமக்கு இரண்டு பிரச்சினைகள் ஏற்பட்டுள்ளன. அணுக்கருக்களிலிருந்து ஆல்ஃபாத் துகள்கள் ஏன் வெளியே பறந்து செல்கின்றன? புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் தனித்தனியாக ஏன் வெளியே பறந்து வருவதில்லை?

இவற்றுள் மிகவும் கடினமான இரண்டாவது கேள்வியில் இருந்து ஆரம்பிப்போம். பிணைப்பாற்றல் வளைகோட்டை ஆராயும்போது, புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள் இவற்றின் இரட்டைகளாலான நாற்சேர்க்கைத் துகள்களைக் (tetrads) கொண்ட அணுக்கருக்கள் (எடுத்துக்காட்டாக, ஹீலியம்—14, கார்பன்—12, ஆக்ஸிஜன்-16), தங்களின் அண்டை அணுக் கருக்களைவிட அதிக நிலைப்பாடுடையவை என்று பார்த்தோம். கனமான கதிரியக்க அணுக்கருக்கள் திட்டமாக இதே நாற் சேர்க்கைத் துகள்களை வெளியிட்டே சிதைவு பெறுகின்றன

என்பதை நாம் இப்பொழுது பார்க்கிறோம். ஆல்ஃபாத் துகள் களில் இந்தப் பலவேட நடத்தையை எவ்வாறு விளக்குவது?

நாற்சேர்க்கைத் துகளில் அணுக்கரு விசைகள் நிறைச்செறி வாக்கம் பெறுகின்றன என்பதையும் இதில் மற்றுமோர் ஐந்தாவது துகளைச் சேர்ப்பது இயலாதது என்பதையும் கவனிக்கும்பொழுது நமது இடர்ப்பாடுகள் மேலும் மேலும் அதிகரிக்கின்றன. அப்படியாயின் ஹீலியம் அணுக்கருவைவிடக் கனமான அணுக்கருக்கள் எவ்வாறுதான் நிலைத்து இருக்க முடியும்?

இந்த விளுக்களுக்கு விடையளிக்க வேண்டுமாயின் ஆல்ஃபாத் துகள்கள் நிலைத்திருப்பதையும் அவற்றிற்கிடையே மெசான் களின் பரிமாற்றத்தையும் கூர்ந்து கவனிப்போம்.

ஓர் எதிர் மின்னூட்ட பை-மெசானை (pi-meson) வெளியிட்ட நியூட்ரான், புரோட்டானாக மாறுவதும், இந்த மெசானை உட்கவர்ந்த புரோட்டான் உடனே நியூட்ரானாக மாறுவதும் நாம் அறிந்த ஒருவகைப் பரிமாற்றமாகும்.

இவ்வாறு, சராசரியாக ஒரு நாற்சேர்க்கைத் துகள் எப்போதும் இரண்டு புரோட்டான்களையும் இரண்டு நியூட்ரான்களையும் கொண்டிருக்கும். சில நாற்சேர்க்கைத் துகள்களிலுள்ள நியூட் ரானால் வெளியேற்றப்பட்ட ஒரு மெசான் அண்மை நாற் சேர்க்கைத் துகளிலுள்ள ஒரு புரோட்டானால் பிடிக்கப்படுதலைச் சிறிதுநேரம் கற்பனை செய்து பார்ப்போம். ஒரே நேரத்தில் இரண்டு 'குற்றங்கள்' இழைக்கப்பட்டதாகின்றன. முதல் நாற் சேர்க்கைத் துகள் மூன்று புரோட்டான்களையும் ஒரு நியூட் ரானையும் கொண்டதாகவும், அண்டையிலுள்ள நாற்சேர்க்கைத் துகள் மூன்று நியூட்ரான்களையும் ஒரு புரோட்டானையும் கொண்ட தாகவும் அமையும். ஏன் 'குற்றம்' என்று சொல்லவேண்டும்? பௌலியின் கொள்கைப்படி புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் எலெக்ட்ரான்களைப் போலவே ஒரே மாதிரியான சுழற்சி (spin) களைப் பெற்றிருப்பதால், எலெக்ட்ரான்களின் மேல் எவ்விதக் கட்டுப்பாடுகள் விதிக்கப்படுகின்றனவோ அதே கட்டுப்பாடு களுக்குப் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் உட்படவேண்டும். ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் சுழற்சியின் ஒரு குறிப்பிட்ட போக்கு (sense) உள்ள துகள் ஒன்றிற்குமேல் இருப்பதை பௌலியின் கொள்கை தடுக்கிறது.

ஆல்ஃபாத் துகளிலுள்ள இரண்டு புரோட்டான்கள் இரண்டு நியூட்ரான்கள் இவை ஒவ்வொன்றும் ஒரே ஆற்றல் மட்டத்திலும்

அதுவும் எவ்வளவு மிகக் குறைந்த ஆற்றல் மட்டம் இருக்க முடியுமோ அதில் இடம் பெற்றிருப்பதால் ஆல்ஃபாத் துகள் அதிக நிலைப்பாட்டுடன் இருக்கிறது. இரண்டு புரோட்டான்களும் ஒரே ஆற்றல் மட்டத்தில் இருக்கின்றன. அதே ஆற்றல் மட்டத்தில் இரண்டு நியூட்ரான்கள் இருக்கின்றன. ஒவ்வொரு கண நேரத்திலும் அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டானும் நியூட்ரானும் ஒன்று மற்றொன்றாக வெவ்வேறு மாறுவேட உருவத்தில் அதாவது, உண்மையாகவே அவை மாறுபட்ட துகள்களாக இருப்பதால் இவ் வமைப்பு ஏற்பட முடிகிறது. இப்போது நாற் சேர்க்கைத் துகளில் மூன்று புரோட்டான்கள் இருந்தால் அவற்றில் ஒன்று பௌலியின் கண்டிப்பான நீக்கல் கோட்பாட்டை மீறவேண்டியிருக்கும். அல்லது அது உயர்ந்த ஆற்றல் நிலையில் இடம் பெறவேண்டும். இதைப் பிணைப்பாற்றல் குறைவான நிலை என்றும் சொல்லலாம்.

அணுக்கருத் துகள்கள் குற்றங்களை யிழைக்க விரும்பாதவை. அவ்வாறே நிலைப்பாடற்ற நிலையையும் விரும்பாதவை. அவை என்ன செய்கின்றனவென்றால் உடனே மெசானை வெளிவிடுகின்றன. மீண்டும் நாம் இரண்டு சாதாரண நாற்சேர்க்கைத் துகள்களைக் காண்கிறோம். ஆனால், நாற்சேர்க்கைத் துகள்களுக்கிடையே ஏற்படும் கணநேரத்தில் விழையும் இப் பரிமாற்றம் அவற்றிற் கிடையே பிணைப்பை ஏற்படுத்துகிறது. இந்த நாற்சேர்க்கைத் துகள்கள் குறைந்தவளவே ஒன்றுக்கொன்று தனிமையாக்கப்பட்டதாகின்றன.

இலேசான அணுக்கருக்களிலிருந்து தூரவெளிச் செல்லச் செல்ல, நாற்சேர்க்கைத் துகள்களின் நிலைப்பாட்டின்மீதுள்ள விளைவுகள் வலிமை குறைந்துவிடுகின்றன. இருப்பினும், கனமான அணுக்கருக்களின் மீது நாற்சேர்க்கைத் துகள்களின் குறிப்பிடத் தக்க செல்வாக்கு இருக்கத்தான் செய்கிறது. அணுக்கரு உருவத்தில் பெரியதாகிவிட்டால் அதன் வெளிச்சுற்றிலுள்ள துகள்கள் அவற்றிற்கு அண்மையிலுள்ள துகள்களோடுமட்டுமே பின்னிய வினையாற்ற இயலும் என்று ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டுள்ளோம். நாற்சேர்க்கைத் துகளே மிகுந்த நிலைப்பாடு பெற்ற அமைப்பாகை யால், அணுக்கருவின் மேற்பகுதியிலுள்ள துகள்கள் நாற்சேர்க்கைத் துகள்களாக மாறித் தோற்றமளிப்பதைக் காண்கிறோம்.

கனமான அணுக்கருக்கள் புரோட்டான்களையும், நியூட்ரான் களையும் அல்லாது நாற்சேர்க்கைத் துகள்களை (ஆல்ஃபாத் துகள்களை) மட்டும் ஏன் வெளிவிடுகின்றன என்பதற்கு ஒரு வேளை இதுவே காரணமாகலாம். ஆனால், அணுக்கருவை விட்டு எவ்வாறு தான் அவை வெளிவருகின்றன? அணுக்கரு என்பது பிணைக்கப்

பட்ட துகள்களின் தொகுதியே, அல்லது இதையே துகள்களின் தனித்த தன்மையிலிருந்து உயர்ந்த அரணுல் பிரிக்கப்பட்ட அழுத்தக்கிணறு என்ற அதன் மறுபெயரால் குறிப்பிடுகிறோம். கிணற்றின் ஆழம் (அல்லது அரணின் உயரம்) நமக்குத் தெரியும். இது பிணைப்பாற்றலுக்குச் சமம்.

ஏற்கெனவே நாம் விளக்கியவற்றிலிருந்து அணுக்கரு அரண் எவ் வகையில் வேறுபடுகிறது என்பதை இப்போது காண்போம். அந்த அரணைத் தாண்டிச்செல்ல எந்தவித முயற்சியும் தேவை யில்லை. அணுக்கரு அரண் பின் சுவரற்ற ஒரு படியல்ல. ஆனுல், ஒரு 'வேலி' போலும். இந்த வேலி அகலமே அற்றது; ஆனுல், மிக உயரமானது. அரணின் அகலத்தை அணுக்கரு விசைகளின் நெடுக்கத்தைக்கொண்டும் அதன் உயரத்தை இவ் விசைகளின் எண் மதிப்பைக்கொண்டும் நிர்ணயிக்கலாம் என்று எளிதில் விளங்கும் வகையில் சாதரணமாகக் குறிப்பிடலாம்.

இப்போது குவான்டம் எந்திரவியல் விளக்கும் பணியை ஏற்றுக்கொள்கிறது. கதிரியக்க அணுக்கருவிலிருந்து ஆல்ஃபாத் துகள்கள் வெளியேறுவது ஒரு புழல் விளைவு (tunnel effect) ஆகும் என்று குவான்டம் அறிவாளர்கள் கூறுகிறுர்கள். உலோகத்தி னின்றும் எலெக்ட்ரான் வெளிவரும் துளைப்பு விளைவு அல்லது குறைகடத்தி, அரிதில் கடத்தி இவற்றில் எலெக்ட்ரான்கள் கடத்தும் பட்டையினுள் (conduction band) ஊடுருவும் புழல் விளைவு இவற்றினின்றும் இந்த விளைவு மாறுபட்டதன்று. எப்பொழுதுமே அலைப்பண்புகள் செயல்படுகின்றன. ஒரு நிகழ்ச்சியில் எலெக்ட்ரான்கள் அலைப்பண்புகளைப் பெறுவதுபோல், மற்ருெரு நிகழ்ச்சியில் ஆல்ஃபாத் துகள்கள் அலைப்பண்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன.

இப்போது நாற்சேர்க்கைத் துகளின் 'இரட்டை வேட' நடத்தையைப் புரிந்துகொள்கிறோம். உண்மையிலேயே அங்கு இரட்டை வேடமே இல்லை. எல்லாமே குவான்டம் நிகழ்ச்சித் தகவுகளைப் பொறுத்தது. கொள்கையளவில், ஓர் ஆல்ஃபாத் துகள் ஆக்ஸிஜன் அணுக்கருவைவிட்டுப் பறந்து வெளிவர முடியும். ஆனுல், அதன் நிகழ்ச்சித்தகவு புறக்கணிக்கத் தக்க அளவு குறைந்தது. இலேசான அணுக்கருக்களில் ஆல்ஃபாத் துகள் வெளிவருவதற்குத் தடையாக உள்ள அரண் மிக உயர்ந்தது (அதிகப் பிணைப்பாற்றல்). அதே நேரத்தில் கனமான அணுக்கருக் களில் இவ் அரண் உயரத்தில் குறைந்தது (மிகவும் குறைந்த பிணைப்பாற்றல்). இப்போது புழல் விளைவின் நிகழ்ச்சித் தகவு அரணின் உயரத்தைப் பெரிதும் சார்ந்துள்ளது. அந்த அரணின்

உயரம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க இது வேகமாகக் குறைகிறது. அங்கே தான் முழு இரகசியமும் அடங்கியுள்ளது.

அதற்குமாறாக, கனமான அணுக்கருக்களில் ஆல்ஃபாத் துகள் வெளிப்படுவதற்குத் தடையாக உள்ள அரணின் உயரம் புரோட்டானும் நியூட்ரானும் தனித்தனியாக வெளிப்படுவதற்கு உள்ளதைவிடக் குறைவு. தனித்தனித் துகள்களைவிட நாற் சேர்க்கைத் துகள் வெளிப்படுவதற்கு இதுவே காரணம்.

அணுக்கருவில் ஓடுகள் உண்டா?

அணுவைப்போலல்லாமல், மேகம் போன்ற எலெக்ட்ரான் கூட்டம் சூழ்ந்துள்ள ஒரு மையப் பொருளை அணுக்கரு பெற்றுள்ள தாகத் தோன்றவில்லை. அணுக்கருவின் புரோட்டான்-நியூட்ரான் அமைப்புக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பின்பு சில ஆண்டுகள்வரை இயற்பியல் அறிவாளர்கள், புரோட்டான், நியூட்ரான்களாலான மேகக்கூட்டம் ஏறத்தாழ ஒரே சீராக அச் சிறு கனபரிமாண முள்ள வெளியில் வியாபித்திருப்பதாகக் கருதினார்கள்.

ஆனபோதிலும், அணுக்கரு விசைகளின் நிறைச்செறிவாக்கக் கண்டுபிடிப்பும் ஆல்ஃபாச் சிதைவு நிகழ்ச்சியின் கண்டுபிடிப்பும் அணுக்கருப் பருப்பொருள்முழுமையும் உருவற்றனவல்ல. மேலும், அங்கு ஆல்ஃபாத் துகள்களைக்கொண்ட சிறுசிறு சிமிழ்கள் இருப்பது போலும் தோன்றுகிறது. குவாண்டம் எந்திரவியலும் பரிசோதனை களும் அணுக்கரு வனத்தில் தொலைதூரம் உட்சென்ற பின்பு, அங்கு மரங்களின் முழுத் தொகுதிகளும், அது உருவத்தைப் பெற்றதாகவும், தூரத்திலிருந்து பார்த்தபோது உருவமற்றதாகத் தென்பட்ட மாதிரியில்லை என்றும் தெரியவருகிறது.

நாற்சேர்க்கைத் துகள் அணுக்கருவில் மிகக் குறைந்த ஆற்றல் மட்டத்தில் இடம் பெற்றிருப்பதையும் ஆகையால் அணுக்கருப் பொருள்களிலேயே இதுதான் மிகுந்த நிலைப்பாடு பெற் றுள்ளதையும் நாம் ஏற்கெனவே அறிவோம். இந் நிலைக்கு ஒரு [illegible]ப் பொது ஆற்றல் மட்டம் உரித்தாகிறது. அங்கு இரண்டு [illegible]ாட்டான்களும் இரண்டு நியூட்ரான்களும் எதிர்த் திசைகளில் சுழற்சிகளைப் பெற்றிருப்பதைக் காண்கிறோம்.

குறிப்பிட்ட அணுக்கருவில் இரண்டாவது நாற்சேர்க்கைத் துகள் வேறுபட்ட ஆற்றல் மட்டத்தில் இருக்கிறது. மூன்றாவது, மூன்றாவது மட்டத்தில் இருக்கிறது. இதேபோல் மற்றவற் றுக்கும் சொல்லலாம். அணுக்களில் எலெக்ட்ரான்கள்போன்றே நாற்சேர்க்கைத் துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க அவை மேலும் மேலும் உயர்ந்த ஆற்றல் மட்டங்களை நிரப்புகின்றன.

ஆனால் எல்லா அணுக்கருக்களும் நாற்சேர்க்கைத் துகள்களால் ஆனவை அன்று. முற்றிலும் உண்மையே! இதன் பொருள் என்னவென்றால் நான்கின் மடங்கிற்கு வேறுபட்ட எண்ணிக்கையில் துகள்களைக்கொண்ட அணுக்கருக்களில், அதற்குரிய ஆற்றல் மட்டங்கள் முழுவதும் நிரப்பப்படுவதில்லை.

அணுவின் வெளிப்புற அமைப்பைப்போன்றே அணுக்கருவின் அமைப்பும் தோன்றலாகிறது. அணுவின் அமைப்பில் முழுவதும் நிரப்பப்பட்ட, முழுமைபெற்ற, நிலையான எலெக்ட்ரான் மண்டலங்கள் இருப்பதைக் காண்கிறோம். (மந்த வாயுக்களை நினைவு கூறவும்) இங்கு, நாற்சேர்க்கைத் துகள்களாலும் எண்ணிக்கை மிக்க அணுக்கருத் துகள்களாலும் உண்டான, நிரப்பப்பட்ட, மிக்க நிலைப்பாடுடைய அணுக்கரு 'ஓடுகள்' இருக்கின்றன.

உண்மையில், ஒரு வெளித்தோற்ற ஒற்றுமைமட்டுமே போதுமானதல்ல. அணுக்கருவில் ஓடுகளிருப்பதற்குத் தெளிவான நிருபணம் நமக்குத் தேவையாகிறது. அணுக்கருக்களின் செழிப்பு (abundance) நிலைப்பாடு இவற்றின் வரைகோடுகளை ஒரு முறை பார்ப்போம். மிக உயர்ந்த உச்சிகளில் சிலவற்றை எடுத்துக் கொண்டு, இவற்றிற்குரிய அணுக்கருக்களிலுள்ள புரோட்டான், நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுவோம்.

முதலில் இருப்பது ஹீலியம்-4; இதன் அணுக்கரு ஒரு ஆல்ஃபாத் துகளாகும். அதில் இரண்டு புரோட்டான்களும் இரண்டு நியூட்ரான்களும் இருக்கின்றன. அடுத்து வருவது 8 புரோட்டான்களையும், 8 நியூட்ரான்களையும் கொண்ட ஆக்ஸிஜன் 16 இதைத் தொடர்ந்து 20 புரோட்டான்களையும், 20 நியூட்ரான்களையும் கொண்ட கால்சியம்-40 இதேபோன்றே மற்றவற்றிற்கும் இறுதியாக வளைகோட்டின் வலதுகைப்பக்க முடிவிலுள்ள இறுதியான உயர்ந்த உச்சிக்குரியது ஈயம்-208 (lead) இதில் 82 புரோட்டான்களும் 126 நியூட்ரான்களும் உள்ளன. (இதோடு 50 புரோட்டான்களைக் கொண்ட தகரம் (tin) அணுக்கருவையும் சேர்க்கவேண்டும். இதன் அணுக்கரு மிகுந்த நிலைப்பாடுடையதாகையால் இயற்கை அதற்கு 10 நிலைத்த ஐசோடோப்புகளை உருவாக்கியிருக்கிறது. அதேநேரத்தில் புரோட்டான் எண்ணிக்கையில் மாறுபட்டவை 2 முதல் 5 வரையில்தான் நிலைத்த ஐசோடோப்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன).

ஆக, புரோட்டான் நியூட்ரான் எண்ணிக்கைகள் 2, 8, 20, 50, 82, 126 இவற்றைக் கொண்ட மிகவும் நிலைத்த அணுக்கருக்களை எடுத்துக் கொள்வோம். எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை 2, 10,

18, 36, 54, 86 இவற்றைக்கொண்ட மந்தத் தனிமங்களின் அணுக்களுக்குச் சமமானதொரு நிலையை இந்த அணுக்கருக்கள் பெற்றிருப்பதைக் கவனிக்கவும். இரண்டும் அதனதன் உலகத்தில் தனியிடத்தை நிலைப்பாட்டைப் பொருத்தளவில் வகிக்கின்றன.

இந்த புரோட்டான், நியூட்ரான் எண்கள் 'விந்தை எண்கள்' (magic numbers) என்று பெயர் பெறும். முற்றிலும் வேறுபட்ட விதிகளையுடைய இரண்டு உலகங்கள் அணுக்கரு உலகம், அணுவின் எலெக்ட்ரான் ஓடுகள் இவை இந்த எண்களைப் பெற்றுப் பொதுவாக ஒரே மாதிரியான அமைப்புகளை வெளிக்காட்டுவதால் ஏதே ஒரு விந்தை இருக்கத்தான் செய்கிறது. ஆகவே, இப் பெயர் பொருந்தும்.

விந்தை எண்கள், மிக நிலைத்த நிலைப்பாடுடைய அணுவின் எலெக்ட்ரான் எண்கள், இவற்றின் ஒப்பீடு, நிச்சயமான வித்தியாசத்தைக் காண்பிப்பது உண்மையே. இந்த இரு உலகங்களிலும் நிலைப்பாட்டைப் பொருத்தளவில் முதலிடம் வகிக்கிற ஹீலியத்திற்குமாத்திரமே இந்த இரண்டு எண்களுமே ஒன்றாக ஒருங்கிசைந்திருக்கின்றன. இந்த இரு எண்களுமே விலகிச் செல்வது தற்செயலாக அமைந்ததல்ல. இதற்கு மாறாக, இவை இரண்டும் ஒருங்கே சேர்ந்தால், மிகவும் குறிப்பிடத்தக்கதாகும். ஏனெனில், அணுக்கருவினுள்ளும், புற எலெக்ட்ரான் மேகங்களிலுமுள்ள சூழ்நிலைக் கட்டுப்பாடுகள் முற்றிலும் வேறுபட்டவை.

இருப்பினும், அணுக்கருவில் மண்டலத் தொகுப்புபோன்ற அமைப்பு இருக்கத்தான் செய்கிறது. சோதனை முடிவுகளும் இதற்கு அனுகூலங்களாக உள்ளன. பொட்டாசியம் (No. 19) அணுவைப் பார்ப்போம். இது ஒற்றை இணைதிறன் எண்ணைக் (univalent) கொண்டது. அதாவது, இது மந்த ஆர்கான் அணுவில் நிரப்பப்பட்டு, முடிவுபெற்ற ஓட்டிற்கு வெளியே ஒரே ஓர் எலெக்ட்ரானைக் கொண்டுள்ளது. பொட்டாசியத்தின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பின் மொத்தச் சுழற்சி, இந்த இணைதிறன் எலெக்ட்ரானின் சுழற்சிக்குச் சமம். மற்ற எலெக்ட்ரான்களின் சுழற்சிகள் இரட்டைகளாக இருப்பதாலும், எதிர்த்திசைகளில் இருப்பதாலும், ஒன்றையொன்று அழித்துக்கொண்டு சுழிநிலையை அடைதல் முற்றிலும் இயல்பானதே.

இப்போது இதை, நான்கு நாற்சேர்க்கைத் துகள்களைக் கொண்டதோடு மேலும், ஒரு நியூட்ரானைப் பெற்ற ஆக்ஸிஜன்-17 ஐசோடோப்பின் அணுக்கருவோடு ஒப்பிடுக. ஆக்ஸிஜன் அணுக்கருவின் சுழற்சி இந்த அதிகப்படியான நியூட்ரானின் சுழற்சிக்குச்

சமமாக இருக்கவேண்டுமென்று எதிர்பார்க்கிறோம். இதுவே உண்மையுங்கூட.

இந்த ஓர் ஒருங்கிசைவு மட்டுமல்ல சோதனைமூலமாக அளவிடப்பட்ட அணுக்கருக்களின் சுழற்சிகளும், அணுக்கரு ஓடுகள் அமைப்பை அடிப்படையாகக்கொண்டு முன்கூட்டியே கணக்கிடப் பட்ட சுழற்சிகளும் மிகவும் நேர்த்தியான முறையில் பொருந்தி யிருக்கின்றன.

காமாக் கதிர்கள் எங்கிருந்து வருகின்றன?

மூன்றாவது வகைக் கதிரியக்கக் கதிரான காமாக் கதிர்களின் தொடக்கத்தை ஆராயும்போது, எலெக்ட்ரான் ஓடுகளுக்கும் அணுக்கரு ஓடுகளுக்குமுள்ளப் பொதுப் பண்புகள் மேலும், பல தெளிவாகத் தெரியவருகின்றன. காமாக் கதிர்களை ஆராய்ந்த இயற்பியல் அறிவாளர்கள் அணுக்கருக் குடும்பங்களின் வாழ்வு களைப்பற்றிய முக்கியமான உண்மைகளை நிரூபித்தார்கள்.

அணுக்கருக் காமாக் கதிர்களின் நிறமாலைகள் முதன்முதல் நம் கவனத்தைக் கவர்கின்றன. அவை தனித்தனிக் கோடுகளைப் பெற்றிருந்தன: இதன் பொருள் என்னவென்று ஏற்கெனவே நமக்குத் தெரியும். அணுக்கருத் துகள்கள் கண்டிப்பாகக் குறிப் பிட்ட ஆற்றல்களையே பெற்றிருக்க முடியும். இதன் பொருள் என்னவென்றால் அவை குறிப்பிட்ட நிலைகளிலே இருத்தல் வேண்டும். அத்தகைய நிலைகளுக்கிடையே ஏற்படும் துகள்களின் இடமாற்றம் (transition) காமாக் கதிர்களை உண்டாக்கும்.

அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்கள் என்பன யாவை? அணுக் கருத் துகள்களால் எவ்வாறு அவை நிரப்பப்படுகின்றன? இந்த அமைப்பு (map) அநேகமாக வெற்றிடங்களாலேயே உண்டாக்கப் பட்டுள்ளது. அணுக்கருவிற்குக் குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டங் களுள்ளன என்ற உண்மை ஆச்சரியத்தையும் ஏற்படுத்தக்கூடாது. துகள்களால் பிணைக்கப்பட்ட தொகுப்பிற்குரிய ஸ்ரோடிஞ்சர் (Schrodinger) சமன்பாடு இந்த ஆற்றல் மட்டங்களை முன்கூட்டியே அறிவித்திருந்தது. இதில் இயல்பாகவே அணுக்கரு அமைப்பும் சேரக்கூடியதே.

அணுவைப் பொருத்தவரை, துகள்களின் பின்னிய வினையை விளக்கும் வாய்பாடு நன்கு பிரபலமானதே. எலெக்ட்ரான்களுக் கிடையேயுள்ள விசையையும் எலெக்ட்ரான்களுக்கும் அணுக்கரு விற்கும் இடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசையையும் கூறும் (Coulomb) விதியால் நிர்ணயிக்கலாம். இவ் விதியை ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்

பாட்டில் பயன்படுத்துகிறோம். ஆனால், அணுக்கரு விசைகளைப் பற்றிய விதி இன்னும் தெரிந்தபாடில்லை.

இயற்பியல் அறிவாளர்கள் எதிரிடையான சிக்கலையும் தீர்க்க வேண்டியிருந்தது. காமாக் கதிர்களின் நிறமாலையை ஆராய்ந்து அதனின்றும் அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்களைக் கணக்கிட்டு அவற்றின் நிறைவுபெறும் ஒழுங்கையும் கணக்கிடவேண்டியிருந்தது. ஒரு காலத்தில், அணுவில் உள்ள ஆற்றல் மட்டங்களை ஒன்று சேர்க்கும் பிரச்சினையில் தீவிரமாக இயற்பியல் அறிஞர்கள் ஈடுபட்டது உங்கள் ஞாபகத்தில் இருக்கும். காமாக் கதிர்களின் நிறமாலையின் தனித்தனிக் கோடுகளின் ஒளிச்செறிவிலிருந்தும் அவற்றின் பண்புகளிலிருந்தும் தகவல்களைச் சேகரிக்க அறிவாளர்கள் முற்பட்டனர். அணுக்கருத் துகள்களின் பின்னிய வினையைப் பற்றிய விதியை அடைய முயற்சித்தனர்.

இப் புதிர் எளிதில் தீர்த்துவைக்க இயலாதபடிக் கடினமாக இருந்ததால் இதுவரை இது முழுவதுமாகத் தெளிவுபடுத்தப்படவில்லை. அணுக்கருத் துகள்களின் இயல்புபற்றிய சில உண்மைகளை அறிந்துகொள்ளும்வரை இதைத் தீர்க்கமுடியாதென்பது வெளிப்படை. இப் புதிரை அணுகுவதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் உத்திகளில் சிலவற்றை அடுத்த அத்தியாயத்தில் விவரிப்போம்.

மேலும், அணுக்கருவில் ஆற்றல் மட்டங்கள், புரோட்டான் நியூட்ரான் ‘ நிகழ்ச்சித் தகவு ’ மேகங்களாலான ஓடுகள்பற்றியும் தெரிந்த கருத்து மிகவும் பயனளிக்கத் தக்கதாக இருந்தது. அவை வெளிக்காட்டும் ஆர்வமிகுச் சிறப்பியல்புகள்பற்றியும் விவரிப்பதற்கு இது வகை செய்திருக்கிறது.

காமா ஃபோட்டானை வெளியிடுவதற்கு அணுக்கரு மிகவும் குறைந்த ஆற்றலுள்ள நிலைத்த நிலையிலிருந்து ஆற்றல் அதிகமான நிலைக்குச் செல்ல வேண்டுமென்பது முதன் முதலில் தெளிவாகிறது. இந் நிலையை அணுவோடு ஒப்பிட்டுப் பார்க்குமிடத்து கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலையென்று கூறலாம். அணுக்கரு முந்தைய நிலைக்கோ அல்லது வேறு நிலைத்த நிலைக்கோ திரும்பும்போது காமா ஃபோட்டான் வெளியேற்றப்படுகிறது.

மின்விசைகளைவிட அணுக்கரு விசைகள் பல மில்லியன்கள் மடங்கு வலிமைமிக்கவை. இக் காரணம் கொண்டே, எலெக்ட்ரான் அமைப்பிலுள்ள ஆற்றல் மட்டங்களின் இடைவெளிகளைக் காட்டிலும் அணுக்கரு ஆற்றல் மட்ட இடைவெளிகள் வழக்கமாக மிகவும் அதிகமானவை. ஒளி ஃபோட்டான்களைவிட காமா ஃபோட்டான்கள் இதே மடங்கு சக்தி வாய்ந்தவையாக இருக்கு-

வேண்டுமென்று எதிர்பார்ப்பது இயல்பே. ஆகவே, அவற்றின் அலைநீளம் அதற்கேற்பக் குறைவாகவே இருக்குமென்று பொருள் படும். அதுவே நாம் காணும் சரியான காட்சியுமாகும். நமக்குத் தெரிந்த எல்லாக் கதிர்களிலும் காமாக் கதிர்களே மிகவும் குறைந்த அலைநீளம் கொண்டவை.

அணுக்கருக்களின் கதிரியக்க மாற்றங்களில் ஏறக்குறைய எல்லாவற்றிலுமே ஏன் காமாக் கதிர்கள் பங்கெடுத்துக் கொள் கின்றன என்பது இப்போது தெளிவாகிறது; ஏனெனில் இந்த மாற்றங்கள், அணுக்கரு மிகவும் அதிக அளவு நிலைத்த நிலைகளுக்குச் செல்லும் மாற்றங்களே தவிர வேறல்ல. சில நேரங்களில் சில அதிகப்படியான துகள்களை மட்டும் வெளியேற்றி அணுக்கரு அமைப்பில் ஏற்படும் ஒற்றைச் சரியீடு (single readjustment) மாத்திரமே முழுமையான நிலைத்த நிலைக்குப் போதுமானதல்ல. இவ்வாறு உண்டாகும் புது அணுக்கரு முந்தையதைவிட மிகவும் நிலைப்பாடுடையதாயினும் அது ஒரு கிளர்ச்சி நிலையே. இந்தக் கலப்பு மாற்றங்களின் கடைசிக் கட்டம், காமா ஃபோட்டானை வெளிவிடுவதே; பிறகு அணுக்கரு கதிரியக்கத் தன்மையற்றதா கிறது.

அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான் ஓடுகள் நினைத்துக்கூடப் பார்க்க முடியாத அளவு தன் அதிகப்படியான ஆற்றலை அணுக்கருவானது வெளிவிட முடியும். காமா ஃபோட்டானை வெளியே எய்வதற்குப் பதிலாக, அணுக்கருவானது தன் கிளர்ச்சியாற்றலைத் தந்திரமாக எலெக்ட்ரான் மண்டலங்களுக்கு நேரடியாகக் கொடுத்துவிடு கிறது. ஆனால், இவ்வாறு கொடுக்கப்படும் அணுக்கருப் 'பரிசு' ஆற்றல், அணுக்கட்டிடத்திற்கு பூகம்பமாக அமையும் அளவிற்கு அதிகமானது. அணுவின் அமைப்பு தொடர்ந்து நிலைபெற்றிருப்பது உண்மையாயினும், சில எலெக்ட்ரான்கள் மிக அதிகமான திசை வேகத்தோடு வெளியே எய்யப்படுகின்றன. இந் நிகழ்ச்சி, நேரடியாக காமா ஃபோட்டானை வெளியிடும் நிகழ்ச்சியோடு மிக வெற்றிகரமாகப் போட்டியிடுகிறது. இது உள்ளிட மாற்றம் (internal conversion) என்று கூறப்படுகிறது.

அணுக்கரு திரவத்துளியை ஒத்ததா?

அணுக்கரு அமைப்புகள், விந்தை அணுக்கருக்கள்..... இவை உண்மையிலேயே வெகு கவர்ச்சியானவை. ஓடுகள்போன்ற அமைப்பில் பொருந்தாத சில சோதனை அடிப்படை உண்மைகளை இக் கவர்ச்சிமிகுக் காட்சியால் விளக்க முடிந்தது. இது ஆச்சரியத்தைக் கொடுக்கக்கூடியதல்ல. முதன் முதலில் உண்மை யிலேயே அணுக்கரு ஓடுகள் இருந்தனவென்றால், அவற்றை ஒத்த

எலெக்ட்ரான் ஓடுகளைவிட மாறுபட்டவைகளாக இருந்திருக்க வேண்டும். அணுக்கருவில் ஓடுபற்றிய கருத்தே உண்மையில் கற்பனையானது, நினைத்துப் பார்க்க இயலாதது. அணுக்கருத் துகள்களால் சூழப்படக்கூடிய உள்ளகம் (core) அணுக்கருவிற் கில்லை. மேலும், அணுக்கருவில் முழுமைபெற்ற தொகுதிகளில் துகள்களின் எண்ணிக்கை அணுவின் வெளிப்புறத் துகள்களின் எண்ணிக்கையினின்றும் வேறுபட்டவை. இறுதியாக, புரோட்டான், நியூட்ரான்களைக் கொண்ட இருவகை ஓடுகள் அணுக் கருவில் இருக்கவேண்டும்.

வெளி அணு உலகத்திலிருந்து உள் அணுக்கரு உலகத்திற்கு எடுத்துச் செல்லப்படும்போது 'ஓடு' என்ற சொல்லின் உண்மையான பொருள் என்னவென்றால், ஒரு வகையான தனிமையாக்கப்பட்ட நிலை, நிலைப்பாடு, அணுக்கருத் துகள் தொகுதிகளில் நிறைச்செறிவாக்கம் (saturation) என்பவைகளே. மேலும், இது எப்பொழுதும் அல்லது எல்லா இடத்திலும் காணப்படுவதில்லை என்று சொல்லலாம்.

ஒரு சில அணுக்கருத் துகள்களைக்கொண்ட இலேசான அணுக் கருக்களுக்கு மாத்திரமே இந்த ஓடுகள் சார்ந்தன என்று சொல்வதில் ஓரளவு நியாயம் இருக்கிறது. ஆனால், அணுக்கருக் களின் பரிமாணம் (size) அதிகரிக்கும்போது, தனித்த ஆற்றல் நிலைகள் தங்கள் தனித்த தன்மையை இழந்துவிடுகின்றன. அணுக் கரு தன் அமைப்பில் மேலும் மேலும் உருவற்றதாகிறது. அணுக் கருத் துகள்கள் அதிக எண்ணிக்கையில் இருப்பதால் அவற்றின் கூட்ட மேகம் ஒன்றின்மேல் ஒன்று படிவதால், அணுக் கருத் துகள் களில் குறிப்பிட்ட இயக்கங்கள் இருப்பதில்லை. மேலும், அவை குவான்டம் விதிகளுக்கு உட்படுவதில்லைபோலும்.

இதன் விளைவாக, அணுக்கரு. அணுவின் பண்புகளை இழந்து விடுகிறது. ஓடுகளமைப்பை நாம் கைவிட்டுவிடவேண்டும். அணுக்கருவிற்காக எந்தப் புதிய அமைப்பை ஏற்படுத்தலாம்?

இரண்டாம் உலக யுத்தம் மூள்வதற்குச் சிறிது முன்னால் அறிவாளர்கள் அணுக்கருவிற்குத் திரவத்துளி அமைப்பை முன் வைத்தனர். இதற்குரிய காரணங்களைப் பின்னால் பார்ப்போம். அணுக்கருவானது ஒழுங்கான அமைப்புகள் (ஆல்ஃபாத் துகள்கள் மண்டலங்கள் போன்று) அல்லாத வெளிப்புறத் தோற்றத்தில் ஒரே சீரான பொருண்மையுடையதாகக் கருதினார்கள். தனித் தனி அணுக்கருத் துகள்கள்-அணுக்கருத் திரவத்தின் மூலக்கூறுகள் அத் திரவத்துளியில் எப்போதும் தொடர்பின்றி (random) இயக்க நிலையிலிருக்கும் என்று கருதப்பட்டது.

இதன் விளைவாக அணுக்கருத் திரவம் ஒரு குறிப்பிட்ட திரவத் தன்மை (fluidity) பெற்றது. திரவத்துளிபோன்று அணுக்கருவிற்கு எல்லைகளுண்டு. ஆனால், இவ் எல்லைகள் நகரக்கூடியன, இயக்கத் திலுள்ளன. மேலும், அநேக வெளி, உள் விளைவுகளால் அதன் உருவமைப்பு (form) மாற்றமடையும். அணுக்கரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையால் அதனுடைய எல்லைகள் முழுதாகவும், கெடாத முறையிலும் வைக்கப்பட்டிருப்பதால், இவையெல்லாம் அணுக்கருவின் மேற்பரப்பைச் சேதப்படுத்துவதில்லை. சாதாரண திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசைக்கு முற்றிலும் ஒத்ததே இந்த அணுக் கருவின் பரப்பு இழுவிசை. திரவத்துளிக்கு வெளியிலிருந்து எந்த விசையாலும் தாக்கப்படாத அணுக்கருத் துகள்கள் ஈர்ப்பு விசையால் மாத்திரமே பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அணுக்கரு விசைகள் அணுக்கருத் திரவத்தை திரவத்துளியாக வைத்திருக் கின்றன.

அந்த ஒத்த தன்மை அத்துடன் நின்றுவிடுகிறது. இரண்டு திரவங்களின் அடர்த்திகளை ஒப்பிடுவோம். சாதாரண திரவத்தில் மூலக்கூறுகள் பிணைக்கப்பட்டிருப்பதைக்காட்டிலும் பல்லாயிரக் கணக்கான மில்லியன்கள் மடங்கு அணுக்கருத் துகள்கள் நெருக்க மாகப் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன என்பதை எளிய கணக்கீடுகள் காண்பிக்கின்றன. குழாயினின்று சொட்டும் திரவத் துளியின் அளவுள்ள அணுக்கரு திரவத்தின் சிறு துளியின் எடை பத்து மில்லியன் டன்களுக்குமேல் இருக்கும்!

ஆச்சரியம்! ஆனாலும் பொருள்களின் பண்புகள் பெரிதும் அவற்றின் அடர்த்திகளைச் சார்ந்தன என்பது நமக்குத் தெரியும். ஒரு வாயுவின் அடர்த்தியை ஓர் ஆயிரம் மடங்கு மாற்றினால் அது முற்றிலும் வேறுபட்ட விதிகளுக்குட்படும் படிகமாக மாறுகிறது. சாதாரணத் திரவத்திற்கும் அணுக்கருத் திரவத்திற்குமிடையே யுள்ள உள் ஒற்றுமை (internal similarity) பற்றி நாம் பேசுவது பொருத்தமல்ல என்பது நமக்குத் தெளிவு. மூலக்கூறுகளுக் கிடையே செயல்படும் விசைகளைப் போலல்லாமல் அணுக்கருத் துகள்களினூடே செயல்படும் விசைகள் முற்றிலும் வேறுபட்டவை களாதலால் அவற்றின் அடர்த்திகளில் ஆயிரக்கணக்கான மில்லி யன்கள் மடங்கு மாபெரும் வித்தியாசமுள்ளது.

வெளிப்புறத்திலிருந்து ஒரு முறை நோக்குவோம். இப்பொழுது ஓர் ஒத்த தன்மையைப் பார்க்கிறோம். ஒரு சிறு பாதரச திரவத் துளியை ஒரு கண்ணாடித் தகட்டின்மேல் வைத்து அதை இலேசாகத் தட்டுக. அச் சிறு திரவத்துளி நடுங்குகிறது. மேலும், அதன் பரப்பினிடையே குற்றலைகள் எழுந்தோடுகின்றன. திரவத்

துளியைக் கடினமாகத் தாக்கினுல் அது பல சிறு சிறு திரவத்துளி களாக உடைந்துவிடும்.

சமீப காலத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டவைகளுள் மிகப் பெரியதை இது நம் கவனத்திற்குக் கொண்டுவரக்கூடும். 1939ஆம் ஆண்டில் அறிவியல் உலகம் கிளர்ச்சியூட்டப்பட்டது. யுத்தத்திற்கு முந்தைய நாட்களில் கெடுதியை அறிவிக்கும் இதன் பொருள் இயற்பியல் அறிவாளர்களுக்குமட்டுமே முழுவதும் தெரியவந்தது. அணுக்கருப் பிளவு அல்லது யுரேனியம் அணுக்கருப் பிளப்பின் கண்டுபிடிப்பே அது.

அணுக்கரு உலகத்தில் ஏற்பட்ட அதிர்ச்சியைக் கொடுக்கக் கூடிய நிகழ்ச்சியை விளக்குவதற்கு பல நாட்டுக் கொள்கையளவு ஆராய்ச்சியாளர்கள் தீவிரமாக முயன்றனர். நீல்ஸ் போரும் (Niels Bohr) சோவியத் நாட்டு இயற்பியல் அறிவாளர் யா. ஃபிரங்க் கலும் (Ya. Frenkel) தனித்தனியாகக் கொள்கை வகுத்தனர். புதிதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அணுக்கருவின் திரவத்துளிப் படிவத்தைக்கொண்டு யுரேனியம் அணுக்கருவின் பிளவையை விளக்குவதில் அவர்கள் வெற்றிபெற்றனர்.

திரவத்துளி அணுக்கரு பிளத்தல்

போர், ஃபிரங்க்கல் இருவரும் இதுபோல் எண்ணினுர்கள்: சாதாரண நிலையில் அணுக்கருவை எடுத்துக் கொண்டால், அதன் துகள்களின் இயக்கத்தில் சில ஒழுங்குமுறைகள் இருக்கத்தான் செய்கின்றன. அணுக்கரு அமைப்பு நிலைப்பாடுடையதாயின் அதில் அடங்கிய துகள்கள் சலனமின்றித் தனித்த நிலையில் தொடர்ந்து இருக்கின்றன.

ஆனுல், திடீரென்று வெளிப்புறத்தில் எங்கேயோயிருந்து ஒரு துகள் அழையா விருந்தாளியாக உள்ளே வந்து சேருகிறது. அது உள்ளே சென்று மூழ்கி ஒவ்வொரு துகளையும் சலனமடையச் செய் கிறது. இதன் வருகையால் ஏற்படும் இரைச்சலில் அணுக்கரு வீடு ஒரே குழப்பத்தில் மூழ்குகிறது.

விரைவில் இப் புதிய துகளை மற்றத் துகள்களினின்றும் வேறு படுத்திக் காட்ட இயலாததாகிறது. இது உட்கொணர்ந்த ஆற்றலை அணுக்கருவிலுள்ள மற்ற எல்லாத் துகள்களோடு பங்கிட்டுக் கொள்வதால் எந்த ஒரு துகளும் வெளிச் செல்ல முடியாததாகிறது. இவ்வாறு ஒரு புதிய அணுக்கரு உண்டாகிறது. இதை ஒரு கூட்டணுக்கரு (compound nuclues) என்று போர் அழைத்தார்.

ஆனால், இந்த நிலை அதிக நேரம் தொடர்வதில்லை. முடிவில் அவற்றுள் ஏதோ ஒரு துகள் அணுக்கரு எல்லையிலுள்ள அழுத்த அரணைத் தாண்டக்கூடிய அளவிற்கு ஆற்றலைப்பெற்று வெளியேறுகிறது. இவ்வாறு வெளியேறும் துகள் உட்சென்ற துகளினின்றும் வேறுபட்டதாயின், இந்த நிகழ்ச்சிகளின் முழு வரிசை அணுக்கரு வினை (nuclear reaction) என்று வழங்கப்படும். தொடக்கத்திலிருந்த அணுக்கருவிலிருந்து இறுதியிலுள்ள அணுக்கரு மாறுபட்டதால் இப் பெயர் நியாயமானதே. வேதியியலில், தொடக்கத்திலுள்ள பொருள்களிலிருந்து உண்டான பொருள்கள் மாறுபட்டால் வேதியியல் வினை என்று சொல்வதுபோன்றே இதுவும்.

ஒரு கூட்டு அணுக்கருவில் துகள்கள் அங்கு மிங்குமாக இயங்குவது, ஒரு திரவத் துளியில் மூலக்கூறுகள் தொடர்பற்ற வெப்ப இயக்கம் பெற்றிருப்பதை நினைவிற்குக் கொண்டு வருகிறது. அப்போதைக்கப்போது திரவத் துளியிலிருந்து தனிப்பட்ட மூலக்கூறுகள் ஆவியாக மாறி வெளிப்படுகின்றன. இது அணுக்கரு வெளித்துகள் ஒன்றால் மோதப்பட்டு வெப்பமடைந்து அதனின்றும் துகள்கள் ஆவியாவதைப்போன்று வெளியேறுவதை ஒத்திருக்கிறது.

இந் நிகழ்ச்சியில் அணுக்கருவில் என்னதான் உண்மையில் நடைபெறுகிறதென்பதை யாரும் சரிவர அறிந்தபாடில்லை. ஆனால், ஒரு வெப்பமான திரவத் துளியின் நடத்தைபோன்று இருக்கிறதென்று நாம் சொல்லமுடியும். திரவத் துளியின் பரப்பை ஒருமுறை நோக்குவோம். இது எல்லா நேரத்திலும் போராட்ட நிலையில், சலனத்துடன் இருப்பதால் ஒரு மூலக்கூறு வெளிச் சென்றவுடன் அதனிடத்தை மற்ற மூலக்கூறுகள் பிடித்துக்கொள்கின்றன.

ஒரு திரவப் பரப்பில் ஏற்படும் அலைவு வீச்சு வலிமையாக அத் திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையைச் சார்ந்ததென்று நீண்ட காலமாகக் கவனிக்கப்பட்டு வந்துள்ளது. பரப்பு இழுவிசை குறைய அலைவு வீச்சு அதிகமாகிறது. ஏற்கெனவே நாம் சொல்லியது போல், அணுக்கரு ஈர்ப்புவிசையே அணுக்கரு திரவத் துளியின் பரப்பு இழுவிசைக்குக் காரணம். அணுக்கரு பெரியதாகவும் கனமாகவும் ஆக ஆக அணுக்கரு விசைகள் வலிமையில் குறைகின்றன. மேலும், அணுக்கருத் துகளின்மேல் அவற்றிற்குள்ள பிடிப்பின் வலிமை மேலும் குறைகிறது. கனமான அணுக்கருக்களில் வலிமை குன்றிய அதிர்ச்சிகள்கூட மேற்பரப்பில் பயங்கரமான அலைவுகளை ஏற்படுத்த இயலும்.

கனமான, நிலைப்பாடு குன்றிய யுரேனியம் அணுக்கருவில் இந்த அதிர்ச்சியை, ஒரு நியூட்ரான் அத்தோடு மோதுவதால் உண்டாக்கமுடியும். (நிலைப்பாடு அற்றதன் காரணமாக இத்தகைய அணுக்கருக்கள் கதிரியக்கம் பெற்றவை என்பதைக் கவனத்தில் கொள்க.) சில நேரங்களில், மிகக்குறைந்த அதிர்ச்சிகூட யுரேனியம் அணுக்கருவைப் பிளக்கச் செய்யும். அணுக்கருவின் ஆற்றலைவிட நூற்றுக்கணக்கான மில்லியன் மடங்கு குறைந்த ஆற்றல் பெற்ற வெப்ப நியூட்ரான் இதோடு மோதுவதாலும் பிளத்தல் ஏற்படும்.

சாதாரணமான ஒரு நீர்த்துளி எவ்வாறு பிரிகிறது? வேகமிகு சலன வரைபடம் இதற்கு விடை கொடுக்கிறது. சரியான வகை மோதலில் அச் சிறு துளி ஒத்த தீர்வைப் பெறுவதால், உயர்ந்த அலைகள் அதன் மேற்பரப்பில் தோன்றுகின்றன. பிறகு அச் சிறு துளி நீள்வடிவமாக நீட்சிபெற்று பிறகு குறுகியிருக்கிற இடத்தில் பிளவுபடுகிறது.

ஒரு சிறு துளியானது அதிக எண்ணிக்கையும், வழக்கமாக வேறுபட்ட பருமனும் கொண்ட சிறு துளிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிற சிக்கலான பிளவுகளும் காணப்படுகின்றன.

கனமான, நிலைப்பாடு குறைந்த அணுக்கருவின் மேல் நியூட்ரான் மோதும்போது, அணுக்கருப் பரப்பில் இவ்வகை உருவ மாற்றம் (deformation) ஏற்படுவதே அணுக்கருப் பிளவிற்குக் காரணமென்று போரும் ஃபிரங்க்கலும் கருதினார்கள்.

அணுக்கருப் பிளவையின் இரகசியங்கள்

அணுக்கருப் பிளவை நியூட்ரானால்மட்டும் ஏன் நிகழ வேண்டும்? சிறிய, நடுத்தரப் பொருண்மைகொண்ட அணுக்கருக்கள் செயற்கைக் கதிரியக்க நிகழ்ச்சியில் தனித்த துகள்களை ஆவியாக்குதல்போன்று வெளியிடுவது போலல்லாமல், கனமான அணுக்கருக்கள் ஏன் பெரிய துண்டங்களாகப் பிரிந்துபோக விரும்புகின்றன?

அணுக்கருவையும், வெளியுலகத்தையும் பிரிக்கும் வேலிக்கு இரண்டு பக்கங்கள் இருக்கின்றனவென்று முன்பே கூறியுள்ளோம். அவ் விரு பக்கங்களும் சமச்சீர் உடையன அல்ல என்று முதல் வினாவிற்கு விடையாக இப்பொழுது நாம் கூறமுடியும்.

உட்பக்கத்தில் இந்த அணுக்கரு வேலி நியூட்ரானைவிடப் புரோட்டானுக்கு அதிகச் சரிவாக மேல் நோக்கியிருக்கிறது. அதனுடைய உயரம் அணுக்கரு விசைகளைப் பொருத்தது. மேலும் புரோட்டான்களினூடே மின்சார எதிர்ப்பு விசையால்

இவ் வுயரம் குறைக்கப்படுகிறது. இந்த அரணின் விளைவாக சாதாரண நிலைகளில் துகள்கள் அணுக்கருவை விட்டு வெளியேறுவதில்லை. அதனால் இது ஓரளவு நிலைப்பாடுடையதாகிறது.

இப்பொழுது, வெளிப்புறத்தில் வேலி ஓரளவு வேறுபட்டது. புரோட்டான்களுக்கு அரண் மாற்றமில்லாமல் அவ்வாறே இருக்கிறது. அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டான்கள் கூட்டாக அவற்றின் இனத்தைச் சேர்ந்த தேவையற்ற விருந்தாளிகளை எதிர்க்கின்றன என்ற உண்மை மீண்டும் கவனத்திற்கு வருகிறது.

நியூட்ரான் மின்னூட்டமற்றதாகையால் நியூட்ரானைப் பொருத்தவரையில் வெளிப்புற அரண் அதற்கில்லை. மாறாக, அவை கீழே விழுவதற்கு அங்கு ஒரு அழுத்தக் கிணறு இருப்பதால், அவை அணுக்கருவிற்குள் சென்று விழும்போது, வழக்கமாக அவை அங்கேயே தங்கிவிடுகின்றன.

ஆகவே, ஒரு புரோட்டான் அணுக்கருவிற்குள், சிறப்பாக அநேக புரோட்டான்களைக்கொண்ட கனமான அணுக்கருவிற்குள் புகவேண்டுமாயின் அது நூற்றுக் கணக்கான மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் ஆற்றல் அடைந்திருத்தல் வேண்டும். ஆனால், நியூட்ரானுக்கு எந்தவித ஆற்றலும் இருக்கவேண்டிய அவசியமில்லை. மிகவும் குறைந்த ஆற்றலுடைய நியூட்ரான்கள் (நூற்றுக் கணக்கில் ஒரு பாகம் எலெக்ட்ரான்-வோல்ட்டே உடைய வெப்ப நியூட்ரான்கள்கூட) அணுக்கருவிற்குள் நுழைவதை அது விளக்குகிறது.

இப்பொழுது இரண்டாவது கேள்விக்கு நாம் விடையளிப்போம். யுரேனியம்-235 அணுக்கருவிற்குள் நுழையும் நியூட்ரான் அக் கருவில் மிதமிஞ்சிய சுமையை ஏற்றுவதால், அச் சுமையைத் தாங்கமுடியாமல் அது சிறு துண்டங்களாக உடைந்து பட்டுப்போகிறதென்று நினைக்க முடியும். ஆனபோதிலும், இந்த நியூட்ரானே அதன் கடைசித் துளி என்று கொள்ளமுடியாது. அதன் நிலைப்பாடுக்கு ஆபத்தை உண்டாக்காமல் இத்தகைய அணுக்கரு மேலும், மூன்று நியூட்ரான்களைத் தன் வசப்படுத்தி யுரேனியம்-238 ஆக மாறமுடிகிறது.

ஆக நாம் பார்ப்பது என்ன? இப் புதிய நியூட்ரான், அணுக்கருவிற்கு மிதமிஞ்சியச் சுமையை ஏற்றி விடுவதில்லை, அதிக அளவு ஆற்றலைக் கூட்டி விடுவதில்லை, கடைசியாக ஒரு வித உதையைக் (kick) கொடுத்துவிடுவதில்லை. பின் யுரேனியம்-235 பிளவைகள் எங்ஙனம் ஏற்படுகின்றன?

நிலைமை உண்மையாகவே சிக்கலாகிறது. மேலும், இம்முறையும் 'குவான்டா' வே நம் முன்னெதிர்ப்படுகிறது. விஷயம்

என்னவென்றால் யுரேனியம்-235 அணுக்கருவானது ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு ஆற்றலுள்ள நியூட்ரானால்தான் பிளவுபடும். இந்த ஆற்றல் எல்லையானது யுரேனியம்-235 அணுக்கருவின் நிலைப்பாடுடைய ஆற்றல் மட்டத்திற்கும் அருகருகேயமைந்த கிளர்ச்சி நிலைகளின் ஆற்றல் மட்டத்திற்கும் உள்ள வித்தியாசத்திற்கு ஒத்ததாகிறது. ஆகவே, நியூட்ரான்களின் ஆற்றல் மேலே குறிப்பிடப்பட்ட இரண்டு நிலைகளுக்குள்ள ஆற்றல் வித்தியாசங்களுக்கேற்ப அமைந்ததாக இருந்தால் அவை யுரேனியம் அணுக்கருவை கிளர்சியூட்டக்கூடிய வகையில் மிகவும் சக்தி வாய்ந்தவையாகின்றன.

நிலைப்பாடுடைய நிலைக்கும், கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலைக்குமுள்ள ஆற்றல் வித்தியாசம் யுரேனியம்-235 அணுக்கருவில் மிகவும் சிறியது. கிளர்ச்சியூட்டப்பெற்ற நிலைக்குச் சென்றபிறகு இவ் அணுக்கரு, இலேசான அணுக்கருபோல் செயல்பட்டு, காமா ஃபோட்டானோடுகூட வேறு துகளையும் வெளிவிட்டு தன் முன்பிருந்த நிலைக்கோ அல்லது வேறு நிலைப்பாடுடைய நிலைக்கோ திரும்புமென்று எதிர்பார்ப்போம். ஆனால், ஏற்படும் நிகழ்ச்சி அதுவல்ல.

அதன் காரணத்தைக் கீழே கூறுவோம். கனமான அணுக்கருக்கள், தனித்தனித் துகள்களுக்குப் பதிலாக ஆல்ஃபாத் துகள்களை (நாற்சேர்க்கைத் துகள்களை) வெளிவிடுவதற்கு விரும்புகின்றனவென்று ஏற்கனவே கூறியுள்ளோம். தனித்தனி அணுக்கருத் துகள்களை வெளிப்படுத்துவதற்குள்ள அழுத்த அரணைவிட ஆல்ஃபாத் துகள்களை வெளிப்படுத்துவதற்குள்ள அரண் குறைவானது என்ற உண்மையே காரணம். யுரேனியம்-235 அணுக்கருப் பிளவை முறையில், பிளவை அணுக்கருப் பகுதிகளாக இத்தகையப் பெரும் துண்டுகள் வெளிப்படுவதற்குள்ள அரண் குறைவாக இருப்பதாகத் தெரியவருகிறது.

கிளர்ச்சியூட்டம்பெற்ற நிலைக்குச் சென்றடைந்தபிறகு அணுக்கருவானது சிறியதான பிளவு அரண்மேல் அசைந்தாடித் துண்டங்களாகப் பிளவுபடுகிறது.

மூலக்கூறுகளில்கூட இதற்கீடான நிகழ்ச்சி காணப்படுகிறது. மூலக்கூறிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரானை வெளியேற்றக் கணிசமான ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. ஆனால், அம் மூலக்கூறைத் தனித்தனி அணுக்களாகப் பிரிப்பதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றல் அதைவிட மிகச் சிறியதே. வேதியியல் வினையில் மூலக்கூறு அணுக்களாகவோ அல்லது மூலக்கூறின் உறுப்புகளாகவோ பிளவுபடுகிறதேயொழிய எலெக்ட்ரான்களாகப் பிளவுபடுவதில்லை என்பதற்கு இதுவே

சரியான காரணமாகிறது. நியூட்ரான்களால் யுரேனியம்-238 அணுக்கருக்களில் உண்டாகும் பிளவு யுரேனியம்-235-ல் உண்டாகும் பிளவைப்போன்றதே. ஆனால், இவ் அணுக்கருவில் கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலைக்கும் தொடக்கத்திலுள்ள நிலைப்பாடுடைய நிலைக்குமுள்ள ஆற்றல் வித்தியாசம் மில்லியன் எலெக்ட்ரான்-வோல்ட்களுக்கும் ஏற்பட்டது. ஆகவே, இவ் அணுக்கருக்களை கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலைக்குக் கொண்டுசெல்ல மிகவும் சக்தி வாய்ந்த, பாய்ந்துசெல்லும் நியூட்ரான்களே தேவைப்படுகின்றன.

எத்தனை அணுக்கருக்கள் இருக்க முடியும்?

மிகவும் குறைந்த அளவே என்று ஒரு வேளை நீங்கள் யூகித்திருப்பீர்கள். அணுக்கருவின் கனம் அதிகமாக ஆக அதன் நிலைப்பாடு குறைகிறது. தன்னிச்சையாகத் தேவைக்கும் அதிகப் படியாயுள்ள ஆல்ஃபாத் துகள்களை வெளிவிட்டு நிலைப்பாடடையும் யுரேனியம் அணுக்கருகூட சராசரி ஆயிரக் கணக்கான மில்லியன் வருடங்கள் வாழ்ந்திருக்கிறது. யுரேனியத்தைவிடக் கனமான அணுக்கருக்கள் ஆல்ஃபாத் துகள்களை வெளிவிடுவதற்குமுன் அநேக வருடங்கள் வாழ்ந்திருக்குமென்றுக் கணக்கிடுவது மிகவும் கடினமல்ல.

எனினும், 'நிறை வகையில்' அணுக்கருக்களைப் பாகுபாடு செய்வதற்குத் தடையாக மற்றுமொரு விஷயம் இருக்கிறது. கனமான அணுக்கருக்கள் பெரிய துண்டங்களால் பிளந்துபோவதற்கு, அவற்றைச் சுற்றிய அரண் மிகவும் சிறியதாக அமைந்ததே காரணமென்று சற்றுநேரத்திற்குமுன் பார்த்தோம். ஆனால், அணுக்கரு இவ் அரணைத் துளைத்துச் செல்வதற்கு உணரக்கூடிய அளவு நிகழ்ச்சித்தகவு இருக்கும் என்று நீங்கள் யூகித்திருப்பீர்கள்.

நியூட்ரான்களோ, கிளர்ச்சியூட்டக்கூடிய வேறு வழிவகைகளோ இல்லாமல் தன்னிச்சையாகவே அணுக்கருவானது அரணைத் துளைத்துச்சென்று பிளவுபடும்; அப்படியா, அந் நிகழ்ச்சி ஏற்படுகிறது? 1940-ல் ஆம் என்று இயற்கைத் தலையசைத்தது. தன்னிச்சையான பிளவு கனமான அணுக்கருக்களில் ஏற்படுவதை சோவியத் இயற்பியல் அறிவாளர்களான ஃப்ளரோவும், பெட்ஜாக்கும் (Flerov and Petrzhak) கண்டறிந்தனர். இது நிரூபிக்கப்பட்ட உண்மையேயன்றிக் குவான்டம் எந்திரவியலின் யூகமல்ல.

அணுக்கருவின் கனம் அதிகமாக ஆக, அதிலுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாக ஆக, இப்பேர்ப்பட்டப் பிளவின் நிகழ்ச்சித் தகவும் அதிகமாகிறது. யுரேனியம் அணுக்கருவில் இந் நிகழ்ச்சியின் வாய்ப்பு மிகவும் அரிது, நிகழ்ச்சித் தகவு சுழி என்றே கூறலாம்.

ஆனால், கலிஃபோர்னியத்தில் (No. 98) தன்னிச்சையாகப் பிளவு உண்டாவதற்குச் சராசரி வாழ்வுக்காலம் ஆயிரக்கணக்கான மில்லியன் ஆண்டுகளல்ல, மிகச் சில ஆண்டுகளேயாகும்.

மேலும் கடைசியில், பிளவைக்குள்ள அரண் மறைந்தே போகின்ற அளவுள்ள அணுக்கருவையும் நாம் பார்க்கிறோம். இவ் வகை அணுக்கருவில் பிளவைக்குத் தடையே இல்லை. உண்மையில் இவ் வகை அணுக்கருக்கள் உண்டாகும்போதே நேரடியான துண்டங்களாகச் சிதைந்துபோய் விடுவதால், உண்டாகிறதே யில்லை. அணுவைக் கட்டும் 'படித்தரத் திட்டங்களில்' கடைசியாக இருக்கும் எண் 120 ஆகும். அதாவது 120 புரோட்டான்களுக்கு மேல் (ஏன், இயல்பாக, அணுவிலும் கூட) எச் சூழ்நிலையிலும் இருக்க முடியாது என்று பொருள்.

அணுக்கரு நிலைப்பாடுடைய நிலையில் இருப்பதா அல்லது பிளவுபடுவதா என்பதை நிச்சயமாக நிர்ணயிப்பது புரோட்டான் களின் எண்ணிக்கையே. கனமான அணுக்கருக்களில் புரோட்டான் களினூடே செயற்படும் எதிர்ப்புவிசைகள் வன்மையாக அதிக மாகிறதோடல்லாமல், தொலைவில் அமைந்துள்ள புறத் துகள் களினூடே நிலவும் அணுக்கரு ஈர்ப்பு விசைகள் அதிவேகமாகக் குறைகின்றன.

இதன் காரணமாக, அணுக்கரு வெளிப்பரப்பிற்கருகில் புரோட்டான்கள் தீவிரமடைவதையும் அதே நேரத்தில் நியூட் ரான்கள் அமைதியான முறையில் நிழலில் ஒதுங்கியிருப்பதையும் காண்கிறோம். வெளிப்பரப்பை எதிர்ப்பு விசைகள் தகர்ப்பதால் அணுக்கரு பெரிய துண்டங்களாக உடைகிறது.

ஓடுகளாகவும் திரவத் துளியாகவும் அணுக்கரு

அணுக்கருவின் இரு விதமான அமைப்புகளைப்பற்றி நாம் இப்பொழுது விவாதித்தோம். அவற்றில் ஒன்று ஓடுகள் படிவமாக, அணுவை ஞாபகப்படுத்தக்கூடிய முறையில் அமைகிறது. மற்றொன்று திரவத் துளியைச் சுட்டிக்காட்டுகிறது. இவை இரண்டில் எது உண்மைக்கருகில் இருக்கிறது ?

தனித் தனியாக அவை ஒவ்வொன்றும் அதனதன் பிரயோகிக் கப்படக்கூடிய இடங்களில் நன்மை பயக்கவல்லது என்று சொல்வது மிகவும் விவேகமான பதிலாகும். வெளிப்புறக் காரணங்களால் கிளர்ச்சியூட்டப்படாத அமைதி நிலையிலுள்ள அணுக்கருவைப்பற்றி விவரித்துக் கூறுவதில் ஓடுகளமைப்பு மேம்பட்டதாகிறது. அணுக்கருவானது அழுத்தத்தின் பிடியில் சிக்கியிருக்கும்போதும், எல்லாம் கொந்தளிப்பான நிலையில்

இருக்கும்போதும், துகள்கள் ஒன்றுக்கொன்று மிகப் பலமாக மோதிக்கொள்ளும்போதும், அவை ஆவியாக மாறும்போதும், அணுக்கருவானது சிதைந்து போகுமளவு மோசமான சூழ்நிலை களின்போதும், திரவத்துளிப் படிவமானது நிகழ்ச்சிகளை விவேகமான முறையில் கையாள்கிறது.

இவ் விரு வெவ்வேறு வகை நிகழ்ச்சிகளை விவரிக்க ஏன் இந்த இரண்டு அமைப்புகளையும் ஒன்றாக இணைக்கக்கூடாது? ஆனால், பிளான்க் (Planck) குவான்டா கொள்கையை விவரிக்கும்போது, இப்பேர்ப்பட்ட இரு கோட்பாடுகளை இணைப்பது ஒரு தையற் காரனின் வேலையல்ல என்பதை ஏற்கெனவே பார்த்தோம்.

நீல்ஸ் போரின் (Niels Bohr) மகனை புகழ்மிக்க டேனிஷ் இயற்பியல் அறிவாளர் ஓகே போர் (Oge Bohr) என்பவர் பத்தாண்டுகளுக்கு முன்பே அணுக்கருபற்றிய ஒருங்கு சேர்ந்த அமைப்பான ஒரு பொதுப்படையான அமைப்பை வெளியிட்டார். உண்மையில் இக் கோட்பாடானது, ஏற்கெனவே நிலவிய பல கோட்பாடுகளின் பண்புகளை எடுத்துக்கொண்டபோதிலும் இது அவற்றினின்றும் முற்றிலும் வேறுபட்டதாக இருந்தது.

அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கைகள் விந்தை எண்களுக்குச் சமமாகவோ அல்லது வெகு அருகாமையிலோ இருக்கும்போது, அணுக்கருவானது ஓடு அமைப்பைப்போன்று செயல்படுமென்பது இப் பொதுக் கொள்கையின் கருத்தாகும். இல்லையெனில் அணுக்கரு திரவத்துளி போன்று செயற்படும். மேலும், முற்றிலும் நிறைந்து முடிவு பெற்ற ஓடுகளுக்கு வெளியேயுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை யானது, அதை முன்தொடர்ந்துள்ள நிரப்பப்பட்ட ஓட்டின் துகள்களின் எண்ணிக்கையில் சுமார் 2/3 பங்காக இருக்கும்போது, குறிப்பாக, இச் செயல்முறை வெளிப்படையாகிறது.

அணுக்கருவில் முற்றிலும் நிரப்பப்பட்ட ஓடுகளுக்கு வெளியே இருக்கும் துகள்களே, தனித்தனியாகத் துகள்களை அணுக்கருவி லிருந்து வெளியிடுவது முதற்கொண்டு அது முழுவதும் சிதைந்து படும்வரை உள்ள எல்லா முரண்பாடான செயல்களுக்குப் பொறுப் பாகுமென்று தெரியவருகிறது. அணுக்கருவில் ஏற்படும் இவ்விதச் செயல்களில் நேரடியாகப் பங்குகொள்ளாமல், நிரப்பப்பட்ட ஓடுகளில் உள்ள துகள்கள் அடக்கமாகச் செயல்படுகின்றன.

அணுவின் வெளி அமைப்பிலுள்ள எலெக்ட்ரான் ஓடுகளைக் கருதவேண்டியுள்ளது என்பதை மீண்டும் உணர்கிறோம். மந்த அணுக்களில் நிரப்பப்பட்ட ஓடுகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களும்

இவ்வாறே தனித்துப் பிரிந்திருப்பதை மீண்டும் நினைவில் கொள்ளவும். அதே சமயம், நிரப்பப்பட்ட ஓடுகளிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் அண்டை அணுக்களோடு உறவு கொண்டாடி மூலக்கூறுகளாகவும் படிகங்களாகவும் மாறுகின்றன. மேலும், இவை வேதியியல் வினைகளில் பங்கேற்கின்றன.

மேலும், அணுக்கருத் துகள்களில் பின்னிய வினைபாடுகள் அதிகமில்லை என்றும் ஓடுகளென்ற நோக்கு மிகவும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததல்லவென்றும் பொதுப்படையான இந்த அமைப்பில் கருதப்படுகிறது.

அணுக்கருத் துகள்கள் இரண்டிரண்டாகப் பின்னிய வினையில் ஈடுபடுவதோடல்லாமல், துகள்களின் கூட்டத் தொகுதி பின்னிய வினைப்பாடுகளும் ஒருவேளை இருக்கக்கூடுமாதலால் திரவத்துளி அமைப்புமூலமே இவற்றை ஆராயமுடியும். இந் நிகழ்ச்சிகளால் அணுக்கரு வெளிப்பரப்பு உருமாற்றமடைகிறது. அதன் காரணமாகப் புரோட்டான்களின் மின்னூட்டம் அணுக்கருவின் கோள உருவில் பகிர்ந்தளிக்கப்படுவதில்லை. மேலும், பல அணுக்கரு விசித்திரங்களுக்கு இதுவே காரணம்.

இந்தப் பொதுப்படையான கொள்கையினால் யூகிக்கப்பட்ட அணுக்கருவின் மின், காந்த மற்றும் பல பண்புகள் பரிசோதனைகள் மூலம் கிடைத்த உண்மைகளோடு நன்கு ஒத்திருக்கின்றன.

அணுக்கரு அமைப்புபற்றியும் இயற்பியல் அறிவாளர்கள் அணுக்கருப் பண்புகளை ஆராய்வதற்கு இவ் அமைப்புகளை உபயோகிக்கும் முறைபற்றியும் உள்ள விளக்கங்கள் போதுமானவைகளே. மேற்படி அமைப்புகள் மாத்திரமல்ல மேலும் பல அமைப்புகளும் யூகிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

இவ் வகையில் பலதரப்பட்ட அமைப்புகளைக் கொண்டிருப்பது நன்மையில் முடியுமா அல்லது அதனால் பிரதிகூலமா? பிரதிகூலமே அநேகமாக உள்ளது. ஏனெனில், அணுக்கரு பலதரப்பட்ட இயல்புகளைப் பெற்றிருந்தபோதிலும் உண்மையில் அது ஒரே தோற்றம் கொண்டதே. தனித்தனியாக இவ் அமைப்புகள் நல்லதே எனினும், ஏதோ சில வகைகளில் திருப்தியற்றதாக உள்ளன. ஆகவே, அணுக்கரு அமைப்புகளின் அதிகமான எண்ணிக்கை அணுக்கரு ஐக்கியமான ஒரு தொகுதியாக இருந்தபோதிலும், அதன் பண்புகளை அறிந்துகொள்வது மிகவும் கடினம் என்பதைக் காட்டுகிறது.

ஒரு முழுபடத்தின் சிறு சிறு பகுதிகளை வெவ்வேறு கோணங்களிலும் பல்வேறு ஒளி அளவுகளிலும் ஒரு டஜன் புகைப்படங்களை எடுத்து அவற்றை மீண்டும் ஒருங்கிணைத்து அந்த முழுப்படத்தை முற்றிலும் அறிந்துகொள்வது முடியாது என்பது இயல்பே. இதை ஒத்ததே அணுக்கரு அமைப்புகளும்.

அணுக்கருக்களைப் பொருத்தவரையில் அணுக்கரு விசைகளைப் பற்றிய உண்மைகளைப் போதுமான அளவில் அறிந்து கொள்ளாததே முக்கியமான இடர்பாடாகும்.

இவ் விசைகள் துகள்களின் மின்னூட்டதைப் பொருத்தனவையல்ல; மேலும், இவை வலிமை மிக்கவைகளாகவும் குறைந்த தூரத்தில் செயல்படுபவைகளாகவும் உள்ளன. எல்லா பரிமாற்ற விசைகளைப்போலவே துகள்களின் பின்னிய வினையாக்கத்தில் பங்குகொள்ளும் துகள்களின் சுழற்சிகளைச் சார்ந்தே இவைகளும் இருக்குமென்றுக் கூறலாம்.

இயற்பியல் அறிவாளர்கள் அணுக்கருத் துகள்களின் உள் அமைப்புகளைக் கண்டறிந்த பின்பு, அணுக்கரு விசைகளைப்பற்றி மேலும் தெரிந்துகொள்வோம். அணுக்கரு ஆய்வைவிட மிகவும் விரிவான, ஒரு புதிய ஆய்வு உலகத்தைத் தன்னுள் அடக்கிக் கொண்டிருக்கும் இப் பிரச்சினையை நோக்கி இயற்பியல் இப்பொழுதுதான் அணுகிக்கொண்டிருக்கிறது.

அணுக்கருவில் இல்லாத துகள்கள் அதனின்றும் பறந்து வெளிவருதல்!

ஆல்ஃபாத் துகள்களும் காமா ஃபோட்டான்களும் எவ்வாறு அணுக்கருவிலிருந்து வெளியேறுகின்றன என்பது நமக்கு ஏற்கெனவே தெரியும். சாதாரண எலெக்ட்ரான்களான பீட்டாத் துகள்கள் எவ்வாறு அதனின்றும் வெளிவருகின்றன?

சுமார் முப்பது ஆண்டுகளுக்கு முன் இயற்பியல் அறிவாளர்கள் இப் பிரச்சினையைத் திட நம்பிக்கையுடன் தீர்க்க முற்பட்டனர். அப்பொழுதுதான் ஆல்ஃபாக் கதிரியக்கம், காமாக் கதிரியக்கம் பற்றிய விளக்கத்தைக் குவாண்டம் எந்திரவியல் கண்டறிந்திருந்தது. ஆகவே, பீட்டாக் கதிரியக்கப் பிரச்சினையைத் தீர்க்க அதிக காலம் ஆகாதுபோல் தோன்றியது. ஆனுல், தன்னுடைய இரகசியங்களை வெளிப்படுத்த இயற்கை அவசரப்படவில்லை. இன்றும்கூட இயற்பியலால் இதை முழுவதும் அறிந்துகொள்ள முடியவில்லை.

அநேமாக பீட்டாக் கதிரியக்கத்தாலேயே அணுக்கருச் சிதைவுகள் ஏற்படுவதால், குவாண்டம் எந்திரவியலால் இம் முட்டுக்கட்டையைத் தீர்க்க முடியாதது மிகுந்த தளர்ச்சியைக் கொடுத்தது. ஐரீன் க்யூரியும் (Irene Curie), ஃபெரிடிரிக் ஜோலியோவும் (Frederick Joliot) *1934*-ல் அணுக்கருக்களை நியூட்ரான்களைக்கொண்டு மோதச்செய்வதால் உண்டாகும் செயற்கைக் கதிரியக்கத்தைக் கண்டுபிடித்ததிலிருந்தும், சிறப்பாக, அணுக்கரு உலை வருகையால் அதிக அளவில் இந் நிகழ்ச்சிகளை ஏற்படுத்த முடிந்ததாலும் இதுவரை உலகமே கண்டறியாத புதுப் புதுக் கதிரியக்க அணுக்கருக்கள் இயற்பியல் அறிவாளர்கள் கையில் ஓடி வந்து அகப்பட்டன.

கடந்த கால் நூற்றுண்டு காலமாக ஆயிரத்திற்கும் மேற்பட்ட புதுக் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் செயற்கையாக உண்டாக்கப் பட்டுள்ளன. அவற்றில் பெரும்பாலானவை பீட்டாத் துகள் களையே வெளியேற்றுகின்றன ; ஆல்ஃபாத் துகள்களை அல்ல.

பீட்டாச் சிதைவை விளக்குவதிலுள்ள முதன்மையானதும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததுமான இடர்பாடு என்னவெனில் அணுக் கருக்களில் எலெக்ட்ரான்கள் இருக்க முடியாது. இது ஏன் என்று அணுக்கருவின் புரோட்டான்-நியூட்ரான் படிவத்தை விளக்கும் போது முன்பொரு சமயம் கூறியிருக்கிறோம். அணுக்கருக்களில் எலெக்ட்ரான்களில் ஏன் இருக்க முடியாது என்பதன் முக்கியமான காரணத்தை இப்பொழுது காண்போம்.

விஷயம் என்னவென்றால் அணுக்கருவில் எலெக்ட்ரான்களைப் பொருத்தமுடியாது! எப்படியாவது நிகழ்ச்சித் தகவுமேகம் முழுவதையும் அணுக்கருவில் புகுத்திஞல்தான் அணுக்கருவில் எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன என்று சொல்ல முடியும். அபூர்வ அளவு உயர்ந்த வேகத்தையுடைய எலெக்ட்ரான்களுக்குக்கூட, அதாவது, அவற்றினுடைய ஆற்றல், அணுக்கரு ஆற்றலுக்கு ஒத்திருந்தபோதிலும் எலெக்ட்ரானின் டி பிராலி அலை நீளம் நூற்றுக்கணக்கான மடங்கு அணுக்கருப் பரிமாணத்தைவிட அதிகமாக இருக்கிறது. ஹைட்ரஜன் அணுவைக் கருதிப் பார்ப்போம். நாம் ஏற்கெனவே கண்டறிந்ததுபோல எலெக்ட்ரான் மேகத்தின் பரிமாணம், எலெக்ட்ரான் அலை நீளத்திற்கு ஒத்திருக்கிறது.

அணுக்கருத் துகள்களின் சுழற்சியோடு, எலெக்ட்ரானின் சுழற்சியைச் சேர்த்துக் கிடைக்கும் மதிப்பு, மொத்த அணுக்கருச் சுழற்சியினின்றும் வேறுபட்டிருப்பதாலும் எலெக்ட்ரான்களுக்கு அணுக்கருவில் இடமில்லை.

இதை அறிந்துகொண்ட உடனே, இயற்பியல் அறிவாளர்கள் அணுக்கருவில் எலெக்ட்ரான்களுக்குப் புகலிடத்தை ஒரேயடியாக மறுத்தனர். ஆரம்பத்திலேயே எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவில் இல்லையென்றால் அவை வெளிவரும் நிகழ்ச்சி எவ்வாறு நிகழும்? மிகவும் இலேசான எலெக்ட்ரான்களை உண்டாக்கும். மிகவும் நிறைமிக்கத் துகள்களை அணுக்கரு கொண்டிருக்கிறது. பெரிய துப்பாக்கிக் குழலிலிருந்து சிறு சிறு குண்டுகள் வெளிவருவது போன்றே இதுவும்!

உண்மையிலேயே, இந்த அணுக்கரு ஆச்சரியமானதே. மேலும், அணுக்கருவிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவருதல் இயற்பியலின் இரண்டு அடிப்படைக் கொள்கைகளுக்கு, அதாவது ஆற்றல் மாறாக் கொள்கை, கோண உந்தம் மாறாக் கொள்கை இவற்றிற்கு முரண்பாடானது.

‘எலெக்ட்ரானுக்கு’ ஓர் உடந்தை

அறிவியல் மாளிகை முழுவதையும் தாங்கிக் கொள்ளத்தக்க அடிப்படையான கொள்கைகள் இயற்பியலில் உண்டு. எல்லா உலகத்திற்கும், எல்லா நிகழ்ச்சிகளுக்கும் இவை பொருந்துவன.

இயக்கத்தை ஆக்கவோ, அழிக்கவோ முடியாது என்பது அவற்றில் ஒன்று. ஒரு வகையான இயக்கம் மற்றொருவகை இயக்கத்தை உண்டாக்கலாம். உணரமுடியாத அளவு உருவில் இயக்கம் மாறக்கூடும், ஆனால், எப்போதும் மறைவதில்லை.

பழம்பெரும் இயற்பியல் உதித்த காலத்தில் இயக்க அளவீட்டின் தேவையை அறிவியல் உணர்ந்தது. இயக்கத்தை விளக்குவதோடல்லாமல், அதனை அளவிடவும், கணக்கிடவும், உரிய தேவையை உணர்ந்தனர். இயற்பியலுக்கு இரண்டு புது அளவுகள் அறிமுகப்படுத்தப்பட்டன. அவை ஆற்றலும், உந்தமும் ஆகும்.

பொது வினையில் பங்கெடுத்துக் கொள்ளும் துகள்களின் மொத்த ஆற்றலும் உந்தமும் மாறாதிருக்கும் தன்மையில், இயக்கம் பிறப்பு இறப்பு அற்றது என்ற கோட்பாடு பிரதிபலித்தது. துப்பாக்கியின் பின்உதைப்பு, இயங்கும் எந்திரத்தில் சூடேறுதல், குத்துக் கழி உள்ளிறங்குதல் (pile driving) இன்னும் கணக்கற்ற நிகழ்ச்சிகள் எல்லாம் இரண்டு மிகப் பெரிய விதிகளுக்கு மாற்றம் ஏதுமின்றி உட்படுகின்றன. ஆற்றல், உந்தம் மாறாக் கொள்கைகளே அவை சுழற்சி இயக்கத்தில், இவற்றிற்குச் சிறிதும் முக்கியத்துவம் குறையாத அடிப்படை விதி கோண உந்த மாறாக் கொள்கையாகும். சுழற்சிப் பாதையில் செல்லும்போது சறுக்கு விளையாடு

பவர்கள் (skaters) கூட இந்த விதியைப் பயன்படுத்துகிருர்கள். அவர்கள் தங்கள் கைகளை ஒன்ருகச் சேர்க்கும்போது சுழற்சி வேகம் அதிகரிக்கிறது.

வெளிவரும் பீட்டாத் துகள்களின் ஆற்றல், சுழி அளவிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்டப் பெரும் அளவுவரையிலுள்ள ஏதாவது ஓர் அளவைப் பெற்றிருப்பதை அறிந்த இயற்பியல் அறிவாளர்களின் அச்சத்தை நாம் நன்குக் கற்பனைசெய்து பார்க்கமுடியும். அணுக்கரு குவான்டம் அமைப்பைப் பெற்றிருப்பதால் அதற்குக் குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டங்கள் இருக்கின்றன வென்பதை நினைவிற் கொள்ளலாம். அப்போதே அது எல்லோருக்கும் தெளிவாகத் தெரிந்திருந்தது.

வேறு சொற்களில் சொல்லவேண்டுமானுல், அணுக்கருவிலேற் படும் எந்த நிகழ்ச்சியிலும் (எடுத்துக்காட்டாக, அணுக்கருவி லிருந்து பீட்டாத் துகள்கள் வெளியேற்றப்படுதல்) அணுக்கரு வானது ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து மற்ருேர் ஆற்றல் மட்டத்திற்குத்தான் செல்லமுடியும். இந் நிகழ்ச்சியால் ஏற்படும் ஆற்றல் வித்தியாசமும் அதை எடுத்துச் செல்லும் பீட்டாத்துகளின் ஆற்றலும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவே என்பது உண்மையில் இதனுல் தெளிவாகிறது.

இருப்பினும், பீட்டாச் சிதைவில் எலெக்ட்ரான் ஆற்றல் நிறமாலையில், இக் குறிப்பிட்ட ஆற்றல்களுக்கு உரிய வரிகளின் சிறிய தடயங்கள்கூடக் காணப்படவில்லை. இவை அனைத்தும் குறிப்பிடுவன என்னவென்ருல், இறுதிக்கட்ட ஆய்வில் வேறு பல நிகழ்ச்சிகளால் நிரூபணம் இருந்தும்கூட, அணுக்கருவானது குவான்டம் கொள்கைகளுக்கு உட்படுவதில்லை அல்லது அணுக் கருவிலிருந்து வெளிவரும் பீட்டாத் துகள்கள் ஆற்றல் மாருக் கொள்கையை மீறுகின்றன!

அவ் விதி மட்டுமன்று. எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவிலிருந்து வெளிவரும்போது அதனுடைய ஆற்றலையும் தன்னுடன் பின்னிப் பிணைந்த சுழற்சியையும் எடுத்துக்கொண்டே வருகிறது. பீட்டாத் துகளை வெளியேற்றிய பிறகும்கூட அணுக்கருச் சுழற்சியில் மாற்ற மில்லை என்பதைப் பார்க்கிருேம். ஒருவேளை எலெக்ட்ரான் தன்னுடைய சுழற்சியை அணுக்கருவில் விட்டுவிட்டு வெளியேறு கிறதோ என்னவோ. இல்லை, அது முற்றிலும் நடக்கக்கூடியது அல்ல. இது எவ்வாறு இருக்கிறதென்ருல், மின்னூட்டமற்ற எலெக்ட்ரான், சாவியற்ற பியானோ (piano), தலையில்லாத அறிவாளர் என்று சொல்வதுபோல் இருக்கிறது!

இவற்றிற்கு எல்லாம் பின் விளைகள் மாறுபட்டனவாக இருந்தன. அணுக்கரு வாழ்வின் குவான்டம் விதிகளில் மிக நம்பிக்கைக் கொண்டிருந்த அறிவாளர்களில் சிலர் ஆற்றல் மாறாக் கொள்கையைக்கூட தியாகம்செய்ய முற்பட்டனர். முதுபழங் கொள்கை என்று சொல்லி இதைத் தவிர்க்கவும் முயற்சித்தனர்.

ஒருபோதும் இது சரியல்ல என்று பிறர் கண்டனர். இக் கருத்து விரைவில் கைவிடப்பட்டது. ஆனபோதிலும் இந்த நெருக்கடியான சூழ்நிலையைத் தவிர்க்க வேறு வழியும் அகப்பட வில்லை. அப்போது உல்ஃப் காங் பௌலி (Wolf-Gang Pauli) சொன்னார் 'இந்த எலெக்ட்ரான் குற்றவாளிக்கு ஓர் உடந்தை இருக்கிறான்'. அவன் எப்படிப்பட்டவன்?

பீட்டாச் சிதைவில் வெளியிடப்பட்ட எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தின் எண்மதிப்பில் சரிசமமான ஆனால், நேர்மின் னூட்டத்தை, அணுக்கரு அதிகப்படியாகப் பெறுகிறது. அணுக்கரு அயனியாக்கப்படுகிறது என்றே கூறலாம். உடந்தை மின்னூட்ட மற்றது, மின்சாரச் சமநிலைபெற்றது என்று இது சுட்டிக்காட்டு கிறது.

உடந்தையின் சுழற்சி எலெக்ட்ரானின் சுழற்சிக்குச் சம மாகவும் எதிர்த் திசையிலும் இருக்கவேண்டும். இரண்டு சுழற்சி களும் ஒன்றையொன்று சரிசெய்துகொண்டு சுழிநிலைக்கு வருகின்றன. எலெக்ட்ரானும் அதன் உடைந்தையும் வெளி யேறும்போது, நமக்குத் தேவைப்படுவதுபோலவே அணுக்கருச் சுழற்சி மாறாமலிருக்கும்.

இறுதியாக, எலெக்ட்ரானும் அதன் உடனாளியும் சேர்ந்து, அணுக்கருவில் பீட்டாச் சிதைவு ஏற்படும்போது எலெக்ட்ரான் கொண்டுசெல்லக்கூடியப் பெரும அளவு ஆற்றலைக் கொண்டு செல்லுகின்றன.

பீட்டாச் சிதைவுக்கு முன்னும் பின்னும் உள்ள ஆற்றல் மட்டங்களின் வித்தியாசமான இப் பெரும ஆற்றல் குவான்டம் நிலையில் இருக்கிறது. ஆனால், இவ்வாற்றலை எலெக்ட்ரானுக்கும் அதன் உடந்தைக்கும் எந்த வழியிலும் பங்கிட்டுக்கொடுக்க முடியும். இந்த ஆற்றலைப் பங்கிடும்முறை குவான்டம் எந்திர வியலுக்கு உட்பட்டதல்ல; மேலும், எந்தவித நிபந்தனைகளும் இதன்மேல் விதிக்கப்படவில்லை.

எனவே, அணுக்கருவில் ஆற்றலை குவான்டம் நிலையில் வைக்கும் முறை பாதுகாக்கப்படுகிறது. மேலும், ஆற்றல், சுழற்சி மாறாக்

கொள்கைகளும் மீறப்படுவதில்லை. இது இம் முட்டுக்கட்டையைத் தவிர்க்கப் பௌலியால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சாமர்த்தியமான ஒரு வழியாகும்.

ஆயினும், இன்னும் ஒரு தடை இருக்கிறது. எலெக்ட்ரான் 'திருடன்' உடனே பிடிபட்டபோதிலும் அதன் உடந்தை எளிதில் பிடிபடுவதில்லை. தளர்ச்சி அடைகிறோம். 'நன்று' உங்களுக்கு நாங்கள் என்ன சொன்னோம்?' என்று நம்பிக்கையற்றவர்கள் கூறக்கூடும். இயற்பியல் அறிவாளர்கள் தங்களுடைய கடைசி ஆயுதத்தைப் பிரயோகிக்கிறார்கள். அவர்கள் மறைமுகமாக உடந்தையின் மீதியுள்ள பண்பான அதன் நிறையைக் கணக்கிடு கிறார்கள். ஒரு துல்லியமான கணக்கீடு இயலாதது. ஆனால், அதன் நிறை எலெக்ட்ரான் நிறையைவிடக் குறைந்தது. ஆயிரக் கணக்கான மடங்கு சிறியது. தவிர்க்கக்கூடிய அளவு சிறியதென்று திட்டவட்டமாகக் கூறலாம்.

இவ் வியப்புக்குரிய பங்காளி இறுதியில் கண்டுபிடிக்கப் பட்டான். அதற்கு மின்னூட்டமில்லை. அதன் நிறை செயல் முறையில் சுழியே. அதற்கு உள்ளவைதான் என்னவென்றால் ஆற்றலும், சுழற்சியுமே. அதன் மின்னூட்டமற்ற பண்பால் சிறிது காலத்திற்குமுன் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட நியூட்ரானை அது ஒத்தி ருந்தது. மில்லியன்கள் மடங்கு நிறையில் அதைவிட இலேசாக இருந்தது. ஆகவே, சிறிய நியூட்ரான் என்ற பொருள்படும் நியூட்ரினோ (neutrino) என்ற பெயரால் வழங்கினர்.

இந்த இரண்டு துகள்களுக்கும் பொதுவான பண்பு ஏதும் இல்லை. நியூட்ரான்கள் புரோட்டான்களோடு வீரியத்தோடு வினையாற்றுகின்றன; அவற்றோடு மோதி இருகிப் பின்னப்பட்ட அணுக்கருவாக உருவாகின்றன. ஆனால், நியூட்ரினோ? ஓர் உடலற்ற ஆவி. நியூட்ரினோ நாம் காணும் அண்டம் முழுவதும் ஊடுருவினாலும்-அதாவது, மில்லியன் ஒளி ஆண்டுகள் தூரம் சென்றாலும்-ஒருபோதும் தன் தடயத்தைக் காட்டிக் கொள்ளாது என்று கணக்கீடுகள் காட்டுகின்றன. எதனோடும் எப்போதும் இது பின்னிய வினையை ஏற்படுத்துவதில்லை என்று தோன்றுகிறது.

சிறிது முன் சென்று பார்க்குமிடத்து, நியூட்ரினோவின் இருப்பை (existence) சில வருடங்களுக்கு முன்புதான் இறுதி யாகவும் நிச்சயமாகவும் மறைமுகமாக நிரூபிக்கப்பட்டது. பீட்டாச் சிதைவைப்பற்றியக் கொள்கையில் உள்ள சூழ்நிலை, அணுக்கரு விசைபற்றியக் கொள்கையின் சூழ்நிலைக்கு ஒத்திருக் கிறது. பின்னால் கூறப்பட்ட பிரச்சினை பத்து ஆண்டுகள் தீர்க்கப் படாமல் இருந்து, அதன் நிரூபணம் பை-மெசான்கள் (pi-mesons)

வடிவில் கிடைத்தது. பௌலியாலும், இத்தாலி நாட்டு இயற்பியல் அறிவாளர் ஃபெர்மி (Fermi) யாலும் வெளியிடப்பட்ட பீட்டா சிதைவுக் கோட்பாடு கால் நூற்றாண்டுக் காலம் தீர்க்கப்படாமல் இருந்தது.

மீண்டும் ஒரு கணம் முற்பகுதிக்கே திரும்பிச் செல்லுவோம். பீட்டாச் சிதைவில் அணுக்கருவிலிருந்து பறந்து வரும் எலெக்ட்ரான் எங்கிருந்து கிடைக்கப்பெறுகிறது என்பதைக் கண்டுபிடித்தாக வேண்டும்.

எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருக்களில் பிறக்கின்றன

மிக நுண்ணிய பொருள்கள் உலகத்தில் ஒவ்வொரு படியிலும் விநோதங்கள் நிகழ்கின்றன என்ற உண்மை, ஏற்கெனவே நமக்கு அறிமுகமானதே. அடுத்த அத்தியாயத்தில் எங்கும் நிகழக்கூடிய துகள்களின் ஒன்று மற்றொன்றாக மாறும் நிகழ்ச்சியைக் கூற வேண்டியுள்ளது. பெரும் பொருள்களாலான நம் உலகத்தில் எப்படிப் பொருள்கள் நிலைத்த, மாறாத தன்மையுடன் இருப்பதைச் சர்வ சாதாரணமாகவும் இயல்பாகவும் காண்கிறோமோ அவ்வாறே ஒரு துகள் மற்றொன்றாக மாறுவது நுண்ணுலகிலும் (micro-world) இயல்பானதே.

அணுக்கரு விசைகளில் முக்கியமான இடம் பெற்றுள்ள, புரோட்டான்கள் நியூட்ரான்களாக மாறுவதும் நியூட்ரான்கள் புரோட்டான்களாக மாறுவதும் நமக்கு ஏற்கெனவே அறிமுகமான நிகழ்ச்சிகளே. இந் நிகழ்ச்சியில் ஒரு நேர்மின் பை-மெசானை வெளிவிட்டுப் புரோட்டான் நியூட்ரானாகவும் அதே சமயம் அம் மெசானைக் கைப்பற்றிய நியூட்ரான் புரோட்டானாகவும் மாறுகின்றன. அதேசமயம் ஓர் எதிர்மின் பை-மெசானை வெளிவிட்டு ஒரு நியூட்ரான் புரோட்டானாக மாறவும்கூடும் என்பதை நாம் நினைவில் கொள்ளவேண்டும்.

பீட்டாச் சிதைவில் அணுக்கருவிலிருந்து வெளியேறுவது இம் மெசானாகவே இருக்கக்கூடும். ஆனால், நிறையின் துல்லிய அளவீடுகள் இப்படி நிகழ்வதில்லை என்பதைக் காட்டுகின்றன. அணுக்கரு வெளிவிடுவது பை-மெசானல்ல. ஆனால், அதைவிட இருநூறுக்கும் அதிகமான அளவு நிறையில் குறைந்த எலெக்ட்ரானேயாகும். பீட்டாச் சிதைவுச் சூழ்நிலைகளில் மெசான்கள் அணுக்கருக்களிலிருந்து வெளியேறுவதில்லை.

மீண்டுமொருமுறை சிறிது தாண்டிச்சென்று பார்ப்போம். நியூட்ரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒரு சில ஆண்டுகளுக்குப் பின்,

இயற்பியல் அறிவாளர்கள் அணுக்கருவில் அமைந்துள்ள இத் துகள் நிலையற்றது என்பதை நிரூபித்தார்கள். அணுக்கருவி னின்றும் வெளியேறிய சுயேச்சையான நியூட்ரான் வெளிவந்த நேரத்திலிருந்து சுமார் 12 நிமிடத்திற்குள் புரோட்டானாக மாறு கிறது. இம் மாற்றத்திலேயேதான் ஓர் எலெக்ட்ரானும் ஒரு நியூட்ரினோவும் வெளியேற்றப்படுகின்றன!

பீட்டாச் சிதைவிற்கான விளக்கம் இப்போது எளிதாகிறது. அணுக்கருவிலிருந்து வெளிவருவன இந்த இரு துகள்கள் அல்லவா? ஆம், சந்தேகமின்றி அவையே. ஆனால், அணுக்கருவிலுள்ள நியூட்ரான் ஒரு சுயேச்சையான நியூட்ரானல்ல. அணுக்கருவிலுள்ள நியூட்ரான் முற்றுலும் வேறுபட்ட வகையில் புரோட்டானாக மாற வேண்டும்.

மேலும், ஏராளமான நேரத்தையும் முயற்சியையும் செல விட்டு பீட்டாச் சிதைவுச் சிக்கலில் கிடைத்த இத் தடயத்தை விட்டுவிடுவது வெட்ககரமாகத் தோன்றுகிறது. அணுக்கருவி லுள்ள நியூட்ரான் ஓரிரு கண நேரத்திற்குச் சுயேச்சை நிலையை அடைகிறது போலும்.

ஒரு கணத்திற்குக்கூட இது நடக்காது. பன்னிரண்டு நிமிடங் களுக்கு எப்படியும் நடக்க இயலாது. ஆனால் பீட்டாத் துகள்களை வெளிவிடும் அணுக்கருக்கள் தாமாகவே நிலையற்றதாகவோ, (எடுத்துக்காட்டாகத் தனிம வரிசை அட்டவணையின் இறுதியில் உள்ள தனிமங்களின் நிறைமிக்க அணுக்கருக்கள்) அல்லது நியூட் ரான் மோதலால் நிலையற்ற, தன்மை பெற்றதாகவோ உள்ளன. இப்போது பீட்டாத் துகளின் வெளியேற்றம், நிலைப்பாடற்ற நிலை யிலிருந்து அணுக்கருவை நிலைப்பாடுடையதாக்கும் ஒரு முயற்சியே யன்றி வேறல்ல.

ஒரு சாயும் சுவற்றை வெளியிலுள்ளோர் தாங்கிப்பிடிக்கலாம். அணுக்கருவில், ஒவ்வொன்றும் உட்புறத்திலிருந்தே, உள்ளேயே செய்யப்படுகின்றன. அதுவே நன்றும்கூட. புரோட்டான்களை அணுக்கரு மாளிகையின் கட்டிடக் கற்களோடும், நியூட்ரான்களை அக் கற்களைச் சேர்த்துப் பிடித்து, நிலைத்த அமைப்பைக்கொடுக்கும் சிமென்ட்டோடும் ஒப்பிட்டுப் பேசிய பல சந்தர்ப்பங்களைப் பெற் றிருந்தோம். ஆனால், அந்தக் கட்டிடமே, ஒரு கட்டுக்கோப்போடு கட்டப்படாமலோ அல்லது வெளியிலிருந்து பலமாகத் தாக்கப் பட்டாலோ-எடுத்துக்காட்டாக, நியூட்ரான் மோதல்-நாம் என்ன செய்கிறோம்?

சிமென்ட் அதிகமாயின் அதைக் கற்களாகவும், கற்கள் அதிக மாயின் அவற்றைச் சிமென்ட்டாகவும் மாற்றி, அணுக்கரு

மாளிகைக்கு வரும் ஆபத்தைத் தவிர்த்து, இயற்கைச் சமநிலையை அடையச் செய்கிறது.

அணுக்கருவில் மின்னூட்டத்தின் 'அதிகப்பாட்டை'யோ அல்லது 'குறைபாட்டையோ' வெளியேற்றுவதன்மூலம் இம் மாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன.

கட்டிடக் கல்லாகிய ஒரு புரோட்டான், சிமென்ட்டாகிய நியூட்ரானாக மாற்றுவதற்காகத் தன்னுடைய மின்னூட்டத்தை பாசிட்ரானை (எலெக்ட்ரானின் ஆடிப் பிம்பமான நேர்மின்னூட்டத் துகள்) வெளிவிட்டுத் தவிர்க்கிறது. ஒரு நியூட்ரான் புரோட்டானாக மாறும்போது, அது எலெக்ட்ரானை வெளிவிட்டு, அணுக்கருவின் மொத்த மின்னூட்டத்தை அதிகரிக்கச் செய்கிறது.

எவ்வளவு விரைவில் இம் மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன? பன்னிரண்டு நிமிடங்களிலல்ல. அணுக்கருவினுள் இருக்கும் நியூட்ரானின் நிலை, அணுக்கருவிற்கு வெளியேயுள்ள சுயேச்சையான நியூட்ரானினின்றும் முற்றிலும் வேறுபட்டது என்பதை ஏற்கெனவே கூறியுள்ளோம்.

ஒரு விநாடியில் ஆயிரங்களில் ஒரு பங்கு நேரம்கூட நிலையற்ற தன்மையைத் தாங்க இயலாத அளவிற்கு, அணுக்கருவில் சந்தர்ப்ப சூழ்நிலைகள் சில வேளைகளில் அமைகின்றன.

சில வேளைகளில் இச் சூழ்நிலைகள், நியூட்ரான் அல்லது புரோட்டான் சிதைவைக்கூடத் தடுக்கின்றன. அப்போது, பீட்டாச் சிதைவு ஆரம்பத்திற்கு முன் வெகுகாலம், சராசரியாக நூற்றுக் கணக்கான, ஆயிரக்கணக்கான வருடங்கள்கூட, அணுக்கரு நீண்ட நெடுங்காலத்திற்கு நிலைத்துவாழும். பொதுவாகச் சொல்லுமிடத்து, இதில் குறிப்பிடத்தக்கது ஏதும் இல்லை-படித்தரமான அணுக்கரு அமைப்புகள் எவ்வாறு வேறுபடுகின்றனவோ, அவ்வகையிலேயே அணுக்கருத் துகள்களின் வாழ்க்கைச் சூழ்நிலைகளும் வேறுபடுகின்றன.

தற்சமயம், குவான்டம் எந்திரவியலால்கூட பீட்டாச் சிதைவு பெறும் அணுக்கருவின் சராசரி வாழ்வுக் காலத்தைத் துல்லியமாக யூகித்துக்கூற இயலவில்லை. இது, அணுக்கரு அமைப்பைப்பற்றிய முழுமை பெறாத, தெளிவற்ற நம் கருத்துகளால் மட்டுமல்ல, (கடைசியில், ஆராய்ந்து பார்க்கும்போது இக் கருத்துகள் அணுக்கரு விசைகள் பற்றியனவே). சுயேச்சை நியூட்ரான் சிதைவு பற்றிய உண்மையை நியாயமான, ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய முறையில் விளக்கம்கூறக் குவான்டம் எந்திரவியலால்கூட இதுவரை முடியவில்லை என்பதை இங்குக் குறிப்பிடவேண்டும்.

இயற்பியலிலுள்ள அநேகக் கோட்பாடுகளில் புரட்சிகரமான புதுமையை ஏற்படுத்திய விநோதமான விசைகளின் கண்டுபிடிப்பு இச் சிதைவின் அடிப்படையாக அமைகிறது. இவற்றைப்பற்றி அடுத்த அத்தியாயத்தில் கூறுவோம்.

பசியுள்ள அணுக்கரு

பீட்டாச் சிதைவின் ஆர்வமூட்டக்கூடிய முக்கிய பகுதிக்கு மீண்டுமொருமுறை திரும்புவோம். எலெக்ட்ரான்களை மட்டுமே எப்போதும் அணுக்கருக்குள் வெளிவிடுவதில்லை என்பது அவற்றில் ஒன்று.

சில வேளைகளில், எலெக்ட்ரான்களின் ஆடிப்பிம்பங்கள் (பாசிட்ரான்கள்) அணுக்கருவினின்றும் பறந்து வெளிவருகின்றன. எலெக்ட்ரான்களினின்றும் அவை ஒரே ஒரு வழியில்-மின்னூட்டத்தில், வேறுபடுகின்றன. அவை நேர்மின்னூட்டம் பெற்றவை. இவ் வகை பீட்டாச் சிதைவை (சாதாரண எலெக்ட்ரான் வெளியேறும் சிதைவைவிடக் குறைந்தளவு எண்ணிக்கையில் ஏற்படும் இந் நிகழ்ச்சியை) விளக்குவது இன்னும் கடினமானது. நேர் மின்னூட்டம் கொண்ட இவ் வகை எலெக்ட்ரான்களை நியூட்ரான்களால் வெளியேற்ற முடியாது. ஒரு புரோட்டான் இதைச்செய்து நியூட்ரானாக மாற இயலும். ஆனால், நியூட்ரானைப் போலல்லாமல் பீட்டாச் சிதைவைப் பொருத்த அளவில் புரோட்டான் முற்றிலும் நிலைத்த தன்மையுடையது.

மீண்டும் ஒருமுறை கீழ்வரும் வினாவைச் சந்திக்கிறோம். ஒருபோதும் அணுக்கருவில் இல்லாத துகள்கள் எப்படி அதிலிருந்து வெளிவருகின்றன? இச் சூழ்நிலை மேலும் கடினமானதாகத் தோன்றுகிறது. எலெக்ட்ரான்கள் எங்கிருந்து வருகின்றன என்பதை நாம் தெரிந்துகொள்ளமுடியும்-அணுக்கரு நியூட்ரான்களிலிருந்தே ஆனால், நேர்மின்னூட்ட எலெக்ட்ரான்கள்-பாசிட்ரான்கள் எங்கிருந்து வருகின்றன?

இதற்கு விடை கண்டுபிடித்தாகிவிட்டது என்றாலும் அடுத்த அத்தியாயத்தில் இதை விவரிப்போம். இன்னும் சற்றுப் பொறுமை வேண்டும். இது யாருக்காவது உதவுமாயின், இதன் இறுதிக் கட்டம் உண்மையில் நம்மை வியப்பில் ஆழ்த்தும் என்று கூறலாம். தேவைப்படுவதெல்லாம் சிறிது பொறுமையே.

வாசகர்களைச் சாமாதானப்படுத்த, அணுக்கரு எவ்வாறு அணு மேகத்திலிருந்து எலெக்ட்ரான்களைச் சாப்பிடுகிறது என்பதுபற்றி ஒரு சிறு கதையைக் கூறுவோம். இயற்பியல் அறிவாளர்கள் இந்தக்

கொடூரமான நடத்தைக்கு 'எலெக்ட்ரான் கைப்பற்றுதல்' (electron capture) என்று பெயரிட்டனர்.

ஆனல், இது எவ்வாறு இயலும்? அணுக்கருத் 'தற்கொலை' நடக்க இயலாமையை, போரால் (Bohr) கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அணு வாழ்வுக் குவான்டம் விதிகள் பிரதிபலிக்கின்றன என்று இப் புத்தகத்தின் தொடக்கத்திலேயே கூறினேம். இக் காரியத்திற் காகவே, சுற்றுப்பாதைகள் (orbits) அறிமுகப்படுத்தப்பட்டன. அதனல் சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் கதிர்வீச்சால் தம் ஆற்றலை இழப்பதும் இல்லை; அணுக்கருவினுள் விழுவதுமில்லை.

சில எலெக்ட்ரான்களையும் அணுக்கரு மின்னூட்டத்தைக் குறைவாகவும்பெற்ற இலேசான அணுக்களில், குவான்டம் எந்திர வியலின் விதிவிலக்குகள் கண்டிப்பாகப் பின்பற்றப்படுகின்றன. எலெக்ட்ரானின் நிகழ்ச்சித் தகவுமேகம் அணுக்கரு வியாபித்துள்ள பகுதிக்கு உட்செல்லுவதில்லை. ஆனல், கனமான அணுக்கருக் களில், மிகவும் உட்புறத்தில் அமைந்துள்ள எலெக்ட்ரான்களின் (அணுக்கருவிற்கு மிக அருகே அமைந்துள்ள ஓடுகளில்) நிலை முற்றிலும் வேறுபட்டதாகத் தோன்றுகிறது.

வெளிப்புறத்திலிருந்து அநேக எலெக்ட்ரான்களால் இவை விலக்கப்படுவதோடல்லாமல், உட்புறத்திலிருந்து கனமான, நேர் மின்னூட்ட அணுக்கருவால் மிகவும் பலமாக ஈர்க்கப்படுகின்றன. இவ் வகை எலெக்ட்ரான்கள் இவ் விருமுனைத் தாக்குதலை அதிக நேரம் தாங்கமாட்டா. எலெக்ட்ரான் மேகங்கள் தடுக்கப்பட்டப் பகுதிக்கு (forbidden zone) பலவந்தமாக நுழைய முற்படுகின்றன. அணு எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவிற்குள் செல்லுவதற்கு ஒரு சிறு நிகழ்ச்சித் தகவு இருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. நிகழ்ச்சித் தகவு இவ்வாறு இருக்குமாயின் விரைவாகவோ அல்லது எப்போதோ ஒரு முறை ஏதாவது ஓர் அணுக்கருவில் இதை இயற்கை ஏற்படுத்துகிறது. இதையே அணுக்கருவில் எலெக்ட்ரான் கைப்பற்றுதல் என்கிறேம்.

இப்போது அணுக்கருவில் எலெக்ட்ரானைப் பெற்றுள்ளோம். என்ன நிகழ்கிறது? பாசிட்ரான் பீட்டாச் சிதைவில் ஏற்படுவது போல், இந் நிகழ்ச்சியிலும் அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் ஓர் அலகு குறைகிறது. சுழற்சி என்னுயிற்று? எலெக்ட்ரானிலிருந்து ஓர் அதிகப்படியான பகுதியை அணுக்கரு பெற்றுக்கொண்ட போதிலும் அதன் சுழற்சி மாருமல், முன்பிருந்த அளவையே பெற்றுள்ளது.

அது அவ்வாருயின், நாம் ஒரே ஒரு முடிவிற்குத்தான் வர இயலும். எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவிற்குள் கொண்டுவந்து சேர்த்த

சுழற்சியை மற்றொரு துகளால்-எலெக்ட்ரானின் பழைய பங்காளியான நியூட்ரினோவால் வெளியே எடுத்துச் செல்லப்படு கிறது. பீட்டாச் சிதைவிற்கும் எலெக்ட்ரான் கைப்பற்றுதலுக்கும் உள்ள வித்தியாசம் என்னவென்றால் பின்னதில் நியூட்ரினோ எலெக்ட்ரானோடு சேர்ந்து ஒரு குழுவாக (team) வெளிவராமல், எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவிற்குள் மறையும்போது இது தோன்று கிறது.

அணுக்கருவின் உட்பகுதியில் நடந்த 'கொலை'க்கு ஒரே சாட்சி, கைக்ககப்படாத, உரு, நிறையற்ற நியூட்ரினோலேயாகும். ஏற்கெனவே நமக்குத் தெரிந்ததுபோல், இந்த ஆசாமியைத் தடுத்து நிறுத்தி விசாரிப்பது மிகவும் கடினமானது; ஏன், முடியாததும்கூட என்று சொல்லலாம்.

இருப்பினும் சமீப வருடங்களில் அது சாதிக்கப்பட்டுவிட்டது. எப்படி என்றால், நம் 'சாட்சி' மற்றொரு அணுக்கருவோடு மோதி. ஒரு புரோட்டானை நேர்மின்னூட்ட எலெக்ட்ரானாகவும் நியூட்ரா னாகவும் மாற்றமுடியும். இது, அடுத்த அத்தியாயத்தில் நாம் விவரிக்கப்போகும் நிகழ்ச்சிக்குத் தலைகீழானது. இது தலைகீழ் பீட்டாச் சிதைவு என்று வழங்கப்படுகிறது.

நியூட்ரினோக்களைத் தனிமைப்படுத்திச் சோதனை செய்வது இயலாதது. அவற்றின் படைகளை ஒருங்கே திரட்டும் ஒரே வழி தான் உள்ளது. அப்படியெனில், ஒருவேளை அவற்றில் சில அகப் படக்கூடும்.

அணுக்கரு உலைகள் நியூட்ரான்களின் வலிமைமிக்க கற்றைகளை உண்டாக்கும்போது, அதுதான் நடைபெறுகிறது. அணு உலையின் சுவர்கள் அவற்றை உட்கவரும்போது, அவை செயற்கைக் கதிரி யக்கத்தைத் தூண்டுகின்றன. சிதைவுறும் அணுக்கருப் பிளவை களான கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட அணுக்கருக்களின் பங்கு இதில் சிறிதளவுகூட இல்லை.

இதைப் பீட்டாச் சிதைவு என்கிறோம். ஓர் அணு உலை ஒவ்வொரு வினாடியிலும் ஏராளமான அளவு நியூட்ரினோக்களை உண்டாக்குகிறது. நியூட்ரான்களையும் காமாக் கதிர்களையும் தன்னுள் கொண்டுள்ள காப்புச் சுவரை இவை வெகு எளிதில் கடந்து செல்கின்றன.

நம் அணு உலையின் அருகே மினுமினுப்பு கணிப்பான் (scintillation counter) இருந்தது.

ஏராளமான ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்களைக்கொண்ட டொலுவின் (toluene) திரவத்தால் நிரப்பப்பட்டிருந்தது. காயா

ஃபோட்டான்கள் தோன்றும்போது அதில் மினுமினுப்புகள் ஏற்பட்டன. நியூட்ரினோக்கள் உட்கவரப்படுவதால் உண்டாகும் பாசிட்ரான்கள் விரைவில், திரவத்தின் அணுக்களிலுள்ள எலெக்ட் ரான்களோடு சேர்ந்து, அவை சந்திக்குமிடத்தில் ஆற்றல் மிக்க காமா ஃபோட்டான்களை உண்டாக்குகின்றன. (இக் கவர்ச்சிமிகு நிகழ்ச்சியின் விரிவான விளக்கத்திற்கு, அடுத்துவரும் அத்தியா யத்தைக் காண்க.)அப்பொழுதுதான் கணிப்பான் முதன்முதலாகப் மினுமினுப்பை உண்டாக்கிற்று.

நியூட்ரான் பிடிப்புக்குச் சாதகமாக, சுயேச்சை நியூட்ரான்களை பேராசையோடு உட்கவரும் அணுக்கருக்களைக்கொண்ட, இரசா யனத் தூய்மைபெற்ற காட்மியம் திரவத்தோடு சேர்க்கப்பட்டது. இங்கும், நியூட்ரான் பிடிப்பைத் தொடர்ந்து காமா ஃபோட்டான் கள் வெளிவந்து மினுமினுப்பை உண்டாக்கிற்று.

இவ்வாறு ஏற்பட்ட இரண்டு மினுமினுப்புகளுக்கு இடையே யுள்ள கால இடைவெளி, ஒரு வினாடியில் மில்லியன்களில் ஒரு பங்காகும். இம் மினுமினுப்புகள், எதிர்பார்த்த நிகழ்ச்சி பற்றிய செய்திகளைச் சூசகமாகக் கொடுக்கவேண்டும்.

இந்த இரட்டை மினுமினுப்புகள் (அவை அடிக்கடி ஏற்படு வதில்லை-பல மணிநேரம் அணு உலை செயற்படும்போது ஒரு சிறு எண்ணிக்கையில் நிகழ்கின்றன.) உண்மையிலேயே பதிவு செய்யப் பட்டன. இதற்கு ஒரே ஒரு காரணம்தான் இருக்கமுடியும்; பாசிட்ரான், நியூட்ரான் இவற்றைக் கொடுக்கும் நியூட்ரினோ, புரோட்டான் இவற்றின் மோதலே. இவ்வாறாக, பௌலி தன் அனுமானங்களை வெளியிட்ட கால் நூற்றாண்டு கழித்து நுண்ணி லகத்தில், எழுதுகோல் நுனியில் பிறந்த மற்றுமொரு துகள் அடையாளம் கண்டு கொள்ளப்பட்டது.

நியூட்ரினோ உண்மையிலேயே நுண்ணியத் துகள்களில் ஒரு குறிப்பிடத்தக்கது என்று தொடர்ந்து செய்யப்பட்ட ஆய்வுகள் வெளிப்படுத்தின. அக் கதையைப்பற்றிப் பின்பு விவரிப்போம்.

குவான்டம் எந்திரவியலுடன் அணுக்கரு உலகத்திற்கு நாம் மேற்கொண்ட பயணம் இத்துடன் முடிவுறுகிறது. அங்கு இன்னும் அநேக சிக்கல்களும், படுகுழிகளும், தடைகளும் இருக்கவே செய் கின்றன. உண்மையில் அவற்றுக்கு முடிவே இல்லை.

துகள்களின் அலைப்பண்புகளையும் அலைகளின் துகள் பண்பு களையும் தெளிவாகப் பிரதிபலிக்கும் ஒழுங்கு விதிகளைக்கொண்ட, பருப்பொருளின் அடிப்படைத் துகள்களின் உலகத்திற்கு, மேலும் இருள் சூழ்ந்த உலகத்திற்கு நாம் இப்போது செல்கிறோம்.

அணுக்கருவிலிருந்து அடிப்படைத் துகள்கள்வரை

ஒரு புத்துலகம் தோன்றியது

அணுக்கருவைவிடக் கடினமான, நிலைமாற்றமடையாத பொருள் வேறொன்றுமில்லை. மின்காந்தப் புலங்கள், உயர்ந்த வெப்பநிலை, மிகையான அழுத்தங்கள் ஏதும் அணுக்கருவைச் சிறிதும் பாதிக்காது. இயற்கையமைப்புகளில் மிக்க வலிவானது அணுக்கருவின் அமைப்பேயென, இயற்பியலார் கருதி வந்தனர்.

அறிவியல் வளர்ச்சி இக் கருத்தை முற்றும் மாற்றிவிட்டது. நிறைமிக்க அணுக்கருக்களில் பலவும், இலேசான நடுத்தர நிறையுள்ளவற்றில் சிலவும் வலிவற்ற நிலை மாறுபடும் அமைப்புகள் கொண்டவை. இயற்கை அடுக்கடுக்காகக் கூறுகளைச் சேர்த்து பெரிய அணுக்களை ஏற்படுத்துகையில் புரோட்டான், நியூட்ரான் விகிதத்தில் சிறு மாறுபாடும், உறுதியற்ற நிலையில் முடிகிறது. மேலும் அணுக்கரு சிதறுகையில் வெளிவரும் சில துகள்கள் அணுக் கருவிலில்லாதவை. இதை விளக்க, நியூட்ரான் புரோட்டானாகவும் புரோட்டான் நியூட்ரானாகவும் மாறலாமென்றும், நியூட்ரினோ என்ற ஒரு புதுத் துகள்கள் உருவாகலாமென்றும் அறிவியல் மேதைகள் எண்ணினர்.

அணுக்கருவின் உறுதியான நிலைக்கே, பை-மெஸான் என்ற துகள்தான் காரணமென்று எண்ணினர். இத் துகளைத் தேடுகையில் ம்யூ-மெஸானென்பதைக் கண்டுபிடித்தனர். எல்லா அணுக்களும், அணுக்கருக்களும் மாறாத ஒரேவகைப் பொருள்களால் ஆனவை என்பதை அறிவியலார் உணர்ந்தனர். அணுக்கருக்களினுள்ளே ஏற்படும் சில விளைவுகள் குவான்டம் எந்திரவியலால் கணக்கிட்டு விவரிக்கமுடியாத வியக்கத்தக்கவையாக இருந்தன. இந் நிலையிலும், குவான்டம் எந்திரவியல், எம்மாதிரி அடிப்படைத் துகள்களிலிருக்கக்கூடும் என முன்னறிவித்தது. பின்னர் சோதனை

களில் அவை கண்டுபிடிக்கப்பட்டதும், அக் கொள்கை மேலும், யாவரையும் வியப்புரச் செய்தது. தினசரி, நம் புலன்களால் அறியப்படும் பொது அறிவையே நம்பியிருந்தால் அறிவியல் வளர்ச்சி, நத்தை செல்லும் வேகத்தில்தான் இன்னும் நகர்ந்து கொண்டிருக்கும். பல பொருள்களின் உட்கருத்துகளை நேரில் தெரிவதை வைத்து எளிதில் அறிய முடியாது. மேற்பரப்பில் காணப்படுபவை பலமுறை நம்மை ஏமாற்றத்திலேயே கொண்டு விடுகின்றன. அணுவின் மிகமிகச் சிறு உள்ளுலகத்தில் ஏராள விநோதங்கள் பொது அறிவிற்கு மாறுனதாகவுள்ளன.

1928ஆம் ஆண்டிற்குச் சென்று பார்ப்போம். புரோட்டான், எலெக்ட்ரான் (மின்அணு)களைக் கொண்டதொரு புத்துலகம் எழுகிறது. குவான்டம் எந்திரவியல் மூன்று வயதே அடைந்துள்ளது. ஹைட்ரஜன் அணு, ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறு உண்டாகுதல் கதிர் இயக்க அணுக்களிலிருந்து ஆல்ஃபாத் துகள் வெளியேற்றத்தை விளக்கும் குகைப்பாதை (tunnelling) இவற்றைப்பற்றிக் குவான்டம் எந்திரவியல் தெளிவுபடுத்திற்று. அணுக்கரு, அதனுள்ளிருக்கும் துகள்கள் இவற்றைப்பற்றிச் சிறிதும் தெளிவேற்படவில்லை.

அதே காலத்தில் பால் டிராக் (Paul Dirac) என்ற 25 வயது ஆங்கில இயற்பியல் நிபுணர், குவான்டம் எந்திரவியலின் வெற்றிகள் நிலையானதல்ல, பழைய சாதாரண வேகங்களைச் சார்ந்த முதுபழங் கொள்கையிலிருந்து வளர்ந்த ஒன்றே அது என்று கூற முற்பட்டார்.

அப்பொழுது நிலவிய 'போர்' கொள்கைப்படி அணுக்கருவை ஒரு செகண்டில் மில்லியன் மில்லியன் முறை, பல மில்லியன் கிலோ மீட்டர் வேகத்தில் சுற்றும் மின்அணுவைக் குறைந்த வேகத்தில் செல்லும் துகள் என்று கருதமுடியாது.

நிறைகுறைவான அணுக்கருவில் எலெக்ட்ரானின் திசை வேகம் செகண்டுக்கு ஆயிரக்கணக்கான கிலோ மீட்டரும் நிறை அதிகமான அணுக்கருவில் நூறுயிரக்கணக்கான கிலோ மீட்டரும் ஆகும்.

அத் துகளின் இயக்கத்தை எப்படிக் குவான்டம் எந்திரவியலில் விளக்க முடியும்? இருபது ஆண்டுகளுக்குமுன் ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன், வெகு வேகமாக இயங்கும் பொருள்களுக்கேற்றக் கொள்கை ஒன்றை—சிறப்புச் சார்புக் கொள்கையைப் (special theory of relativity) பிறப்பித்திருக்கிறார்.

டிராக் என்பவர் இக் கொள்கையின் உதவியால், குவான்டம் எந்திரவியலை, மீச்சிறு துகள்களுக்கும் பயன்படுத்தலாம் என முடிவு செய்தார்.

காணற்கரிய எல்லைக்கோடு

இச் சிறு நூலில், சார்புக் கொள்கையின் முழு விவரத்தையும் எடுத்துரைக்க இயலாது. இந் நூலின் பொருளைச் சார்ந்தவற்றை மட்டும் நோக்குவோம்.

முதலில் வேகங்களில், குறைவேகம், பெருவேகம் என்பவை என்னவென்பதைப் பார்ப்போம். தினசரி நாம் காண்பவைகளில், நத்தையின் வேகம் குறைவு, ஜெட் விமானத்தின் வேகம் பெரியதெனக் கூறலாம். ஆனால், இவ் வேகங்கள், மனிதனின் நடக்கும் அல்லது ஓடும் வேகத்தை வைத்து ஒத்திடப்பட்டவையாகும்.

வெகு தூரத்தில் செல்லும் புகைவண்டியை, ஜெட் விமானத்தை, அல்லது செயற்கைக் கோளையே பார்க்கும்போது அவை வேகமாகச் செல்வது தெரிவதில்லை. துரிதமாகச் செல்பவை; மெள்ளச் செல்பவை; என்ற பாகுபாடு, ஒன்றையொன்று சார்ந்ததேயாகும்.

இயற்பியலார் அத்தகைய எண்ணங்களால் திருப்தியடையவில்லை. மனித வேகமின்றி வேறு, எக் காலத்தும், எந் நிலையிலும் மாறுத வேகமொன்றை வேக அளவியலுக்குப் பயன்படுத்த ஆராய்ந்தனர்.

உலகு சூரியனைச் சுற்றிவரும் வேகத்தை எடுத்துக் கொள்ளலாமா? மனிதனின் அறிவு, விண்வெளியிலுள்ள விண்மீன்கள், கோள்களைப்பற்றி நன்கு வளர்ந்து விட்டதால் இவற்றில் எதையும் சாராத ஓர் அளவு வேகமுண்டா என நிர்ணயிக்க முயன்றனர்.

இயற்கை, மனித அறிவின் எல்லையின் இறுதிவரை, நிலவியிருக்கும் விண்வெளியெங்கும், மாறுத அதிவேகமொன்றைத் தந்துள்ளது. அது மின்காந்த, 'ஒளியலைகளின் வேகமாகும். 300,000 கி.மீ. ஒரு செகண்டிற்கு.

ஒளியின் வேகத்தைவிட, வேகமொன்றிற்கும் இல்லை. இயற்பியலார் ஒளிவேகத்தை யொத்த வேகத்தை மிகுவேக (fast) மென்கிறுர்கள் மற்றவை மெள்ளச் செல்பவை (slow) இப் பாகுபாட்டை ஏற்பதில், ஆழமான கருத்து அடங்கியுள்ளது.

பொருள்களின் இயக்கம் ஒளி வேகத்தை நெருங்குகையில், அவற்றின் பண்புகள் எதிர்பாராத வகையில் மாறுதலடையத்

தொடங்குகின்றன. சிறு துகள்களைச் சார்ந்தமட்டில் இம் மாறுதல்களை எளிதில் விளக்கமுடிகிறது. ஒரு பொருளின் வேகம் ஒளியின் வேகத்தை அடையும்பொழுது அதனுடைய நிறை அதிகரிப்பது ஒரு வெளிப்படையான மாறுதல் ஆகும். அப் பொருள் அதனுடைய வேகத்தை அதிகரிக்கும் விசையை எதிர்ப்ப தால், இந்த நிறை அதிகரிப்பது தெரிகிறது. இதனால் பொருளின் வேகத்தை அதிகரிக்க மேலும் மேலும் அதிக விசை தேவைப் படுகிறது.

ஆனால், எத்தகைய பெருவிசையாலும் ஒரு பொருளை ஒளியின் வேகத்தில் செலுத்த இயலாது. சார்புக் கொள்கை ஒரு பருப் பொருளும் (material particle) ஒளி வேகத்தில் போக முடியாது எனக் கூறுகிறது. பருப் பொருள் என்பது தனித்தோ அல்லது பல துகள்களால் அமைந்தோ ஓரிடத்தில் அசைவின்றி இருக்க வல்லது. ஃபோட்டான்கள் (potons) என்பவை ஓரிடத்தில் நிலைத்து நிற்காதவை. அதனால் அவை சார்புக் கொள்கைக்கு உடன் படாதவை.

இந்தக் கருத்தை கீழ்க்கண்டச் சமன்பாட்டினால் கணிதவியலில் கூறலாம்.

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

இதில் m_0 என்பது, ஒரு பொருள் அசையாமல் நிலைத்து நிற்கும்போது அதனுடைய நிறை $m(v)$, அப் பொருள் v வேகத்தில் செல்லும்போது அதனுடைய நிறை, c' என்பது ஒளியின் வேகம். இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து பொருளின் வேகம் ஒளியின் வேகம் v-வை நெருங்கும்போது அதனுடைய நிறை அதிகரிப்பது தெரி கிறது. 'v' என்பது 'c'-க்குச் சமமாகும்பொழுது பொருளின் நிறை எல்லையற்றதாக அதிகரித்துவிடும். இத்தகைய நிறை ஏற்றத்தை ஓர் எல்லையற்ற விசையால்தான் விளைவிக்க முடியும். ஆனால், இயற்கையில் எல்லையற்ற நிறையோ (infinite-mass) எல்லையற்ற விசையோ (infinite-force) கிடையாது. அண்டமானது எல்லையற்றதாகும். ஆனால், அதனுள் எல்லையற்றது எதுவுமில்லை.

இந்த வாய்பாடு ஃபோட்டான்களுக்குப் பயன்படாது எனக் கூறினோம். ஃபோட்டான்கள் ஒளித் துகள்கள், நிலையாக நிற்கா தவை. அவற்றுக்கு நிலை நிறையும் கிடையாது. $m_0 = 0$ என்பதையும் $v = c$ என்பதையும் வாய்பாட்டில் எழுதினால் 0/0 என்ற கணக்கிடமுடியாத விடை கிடைக்கிறது. ஃபோட்டான் களுக்கு நிறை எதுவானாலும், $v = c$ என்ற நிலையில்தான் இயங்கு கிறது.

ஒளியின் வேகமென்பது அதுதான். ஒரு பொருளும் அவ் வேகத்தில் செல்லமுடியாது. ஒளி வேறு எவ் வேகத்திலும் செல்லாது. ஒளிவேகம் திடப்பொருள்களுக்கும் ஃபோட்டான் களுக்கும் இடையே உள்ள தடையாகும்.

சார்பு நிலைகூறும் நிறையேற்றத்தை ஏன் நாம் தினசரி வாழ்க்கையில் காண்பதில்லை. 100 கிலோகிராம் நிறையுள்ள ஒரு ராக்கெட் 11 கி. மீ./செகண்ட் வேகத்தில் செல்லுகையில், அதன் நிறை 0-35 மில்லி கிராமே அதிகரிக்கிறது. ஆனால், 25,000 கி.மீ./ செகண்ட் வேகத்தில் ஒரு பொருளின் நிறை இரு மடங்காகிறது. துகள் முடுக்கிகளில் அணுத்துகள்களுக்கு இத்தகைய மாறுதல்களே ஏற்படுகிறது. இந்த மாற்றத்தை, துகள் முடுக்கிகளை உருவாக்கு கிறவர்கள் நினைவில் வைக்கவேண்டும்.

சார்புக் கொள்கையைப்பற்றி மேலும் கொஞ்சம்

பொருள்களின் வேகம் ஒளிவேகத்தை நெருங்குகையில் வேறு சில வியக்கத்தக்க மாறுதல்களும் ஏற்படுகின்றன. நிறைமாற்ற மின்றி அவற்றின் அளவும் (dimension) மாறுகிறது. இயற் பியலார், பொருளின் தகுதி நேரம் (proper time) என்பதைக் கூறுகின்றனர். உடற்கூற்றில் இடையறுது சீருக இயங்குபவற்றை யொட்டி இயங்குகின்ற கடிகாரங்கள் நம் உடலில் உள்ளன எனக் கருதலாம்.

பொது கடிகாரங்கள்படி நம் தினசரிச் செயல்களை அளவிடு கிறோம். பகல், இரவு, பணிபுரிதல், தூங்கியெழுதல்போன்ற வற்றைப் புவி தன்னைத்தானே சுற்றுவதைச் சார்ந்த கால அளவால் கணக்கிடுகிறோம். காலம் பறக்கிறது, காலம் அப்படியே நிற்கின்ற தெல்லாம் நாம் கூறுகிறோம். சீருக இயங்குபவை துரிதமாக இயங்கினுல் நேரம் போவது துரிதமாகத் தெரிகிறது.

இவ் உவமை சார்புநிலைக் கொள்கையிலும் உள்ளது. ஒரு பொருள் அதிவேகமாகச் செல்லுகையில், அதனுள், அதனுடைய தகுதி நேரம் மெல்லக் கழிகிறது. வெளியிலுள்ள நேரம்வேகமாகப் போகிறதெனக் கொள்கை காட்டுகிறது.

வெகுதூர விண்வெளிப்பயணங்கள் நம் நினைவை ஈர்க்கும் இக் காலங்களில் கடிகாரப் புதிரென்பதைப்பற்றி (clock parodox) சாதாரணமாகப் பேசுகிறோம். அறிவியல் அடிப்படைக் கதை களில் விண்வெளிப் பயணிகள், ஃபோட்டான் ராக்கெட்டுகளில் சென்று பயணம் முடித்து புவி திரும்பியதும் அவர்களுக்கு உலகி லுள்ளவர்கள் வயது கடந்தவர்களாகத் தென்படுகிறார்கள்.

ஆண்டுகள் எப்படிப் பறந்துவிட்டன என்று அவர்கள் வியப்புடன் கூறுகிறார்கள். முற்றிலும் அது உண்மையே. வேகமாகச் செல்லும் விண்வெளிக் கலங்களில் தகுதி நேரம் மெல்லக் கடக்கிறது.

இதைக் கணிதவியலில் கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டினால்

$$t(v) = t_0 \sqrt{1-v^2/c^2}$$

விளக்கலாம். $t(v)$ விண்வெளிப் பயணியின் தகுதிநேரம், t_0 உலகிலுள்ள கடிகாரப்படிக் கணக்கிட்ட நேரம்.

இதிலிருந்து ஃபோட்டான்கள் ஒளி வேகமுடையவையாதலால், தகுதி நேரமென்பதே இல்லாதவை எனவாகிறது. ஒரு கடிகாரம் ஃபோட்டானுடன் இணைக்கப்பட்டால், அது ஓடாமல் ஒரே நேரத்தையே காட்டும்.

சார்புநிலைக் கொள்கை வேறு பல புதிர்களை உருவாக்கியுள்ளது. ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடு, அதாவது

$$E_0 = m_0 c^2$$

என்பது இயற்பியலில் வெகு முக்கிய இடத்தைப் பெற்றிருக்கிறது. இங்கு E_0 என்பது நிலைநிறை m_0 உடைய ஒரு நிலைப்பொருளின் ஆற்றலாகும். இதை இயக்க ஆற்றல் அல்லது நிலையாற்றலிலிருந்து அமைதி நிலையாற்றல் (rest energy) அல்லது பொருளின் தகுதியாற்றல் (proper energy) எனலாம். இது வேகத்தையோ பொருளிருக்கும் நிலையையோ சார்ந்ததல்ல. முதுபழங் கொள்கையில் இத்தகைய கருத்தேயில்லை. பின்னர் அதைப்பற்றி விரிவாகப் பார்ப்போம். இப்பொழுது குவான்டம் இயற்பியலில் சார்புக் கொள்கை எப்படிப் புகுத்தப்பட்டது என ஆராய்வோம்.

முதல் கட்ட இடையூறுகள்

இருபதாம் நூற்றாண்டின் இரு பெருங்கொள்கைகளை இணைக்க, டிராக் முற்படுவதைக் காண்போம். இச் சேர்க்கைக் கொள்கை, குவான்டம் கொள்கைகளுக்கு மீச்சிறுத் துகள்களைப்பற்றிய கருத்துகளின் தாக்குதலைத் தாங்கும் வன்மையைத் தரவேண்டும்.

ஸ்ரோடிஞ்சரின் வாய்பாடு இயற்கையில் மறைந்துகிடந்த பலவற்றைத் திறக்கும் குவான்டம் எந்திரவியலின் திறவு கோலாயிற்று. ஆனால், சில இரகசியங்களை அதனால் வெளிப்படுத்த முடியவில்லை. வேறு வழிவகைகளைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டியதாயிற்று.

இவ் வாய்பாட்டைச் சார்பு நிலைக் கொள்கையுடன் இணைப்பது எளிதல்ல என்று உணர்ந்தனர். டிராக் நினைத்தவாறு அவருடைய புதிய வாய்பாடு, சார்பு நிலையிலடங்கிய மாறிலிகளைத் (constants) தரவில்லை. ஆனால், பின்னர், டிராக்கின் ஒரு புதிய கண்டுபிடிப்பிற்கு, இந்தத் தவறான கட்டமே காரணமாயிற்று.

சார்பு நிலையொத்த மாறிலிகள், (relativistic invariants) இவை பயங்கரச் சொற்கள், இத் தலைப்பை ஒட்டிய கொள்கையே தூக்கி எறியப்படலாம்.

இப் பொருளின் உட்கருத்து இதுதான். ஒரு படகில் பந்தாடியிருக்கிறீர்களா? ஒரு பறக்கும் விமானத்தில் பந்தாடுவதை உருவகப்படுத்தி, தரையிலாடுவதற்கும், விமானத்தில் ஆடுவதற்கும் ஏதாவது வேறுபாடு உண்டு என்று கூறமுடியுமா? முடியாது. ஆனால், ஒரே ஒரு நிபந்தனை. படகும், விமானமும், மாறா வேகங்களில் சீராகச் செல்லவேண்டும்.

அமைதி நிலையையும், சீரான வேக இயக்கத்தையும் பிரித்துக் காட்ட ஒரு வழியும் இல்லை. திசைவேகம் எவ்வளவு ஆனாலும், பகல், இரவு இல்லையென்றால் உலகம் தன்னைத்தானே சுற்றுவது புலப்படாது. பருவகால மாற்றங்கள் இல்லையென்றால், உலகம் சூரியனைச் சுற்றுவது புலப்படாது. சரியாகக் கூறினால் இவ் விரு இயக்கங்களும், முடுக்க இயக்கங்களாகும். (accelerated motion). எச் சுழற்சியும் முடுக்க இயக்கமே.

ஆனால், இங்குக் குறிப்பிட்ட இரண்டும் மிகக் குறைவான முடுக்கங்களாதலின் சீரான இயக்கங்களாகவே அவற்றைக் கருதலாம்.

ஒளிவேகத்தில் செல்லும் ஒரு விண்-வெளிக்கலத்தினுள்ளுள்ள பொருள்களில் இயக்கங்கள், புவி ஈர்ப்பிலுள்ளதுபோன்றே இருக்கும். ஆனால், அதனுள் செயற்கை முறையில் ஈர்ப்பு ஏற்படுத்தப்பட்டிருக்க வேண்டும். பொருள்களின் இயக்கங்கள், அவைகளிருக்கும் நிலையைக் குறிக்கும் கால, இட, அளவுமுறையின் (reference system) வேகத்தைச் சார்ந்ததல்ல. ஆதலால், புவியிலோ விண்வெளிக்கலத்திலோ பொருள்களின் இயக்க விதிகள் (laws of motion) கால, இடக் குறிப்பளவு முறையைச் சாராது.

எத்தகைய குறிப்பிட்ட முறைகளிலும், இயக்க விதிகள் மாறுபாடின்றியிருக்கும். அம் முறைகளின் சார்புத் திசைவேகங்கள் சீராக உள்ளவரை இயக்கச் சமன்பாடுகள், சார்புத் திசைவேகங்களால் மாறாதவை எனக் கூறலாம். சார்புநிலை மாறிலி என்பதன்

பொருள் இதுதான். ஒளிவேகத்தில் செல்லும் விண்வெளிக் கலத்தில் ஒரு பந்து செல்லும் பாதையை, ஒரு சமன்பாடு, புறவளைவு என்றும், உலகில் பரப்பில் பரவளைவு என்றும், விவரித்தால் அந்த சமன்பாடு சரியானதல்ல என்று தள்ளிவிடலாம். ஸ்ரோடிஞ்சர் வாய்பாட்டை மாற்றியமைக்க முயன்றதில், இத்தகைய நிலையேற்பட்டது.

ஓர் எதிர்பாராத கண்டுபிடிப்பு

இந்த நிலையிலிருந்து முறையான ஒரு வழி தேடுகையில் ஸ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டில் நான்கு அலைத் தொடர்களை டிராக் புகுத்தினர். இதனால் விளைந்த சமன்பாடு சார்புநிலை மாறிலியான விடைகளைத் (relativistic invariance) தந்தது. அந்தச் சமன்பாடு நான்கு விடைகளைத்தந்தது. ஆனால், ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கு நான்கு நிகழ் திறன்களிருப்பதை எப்படிப் புரிந்துகொள்ள முடியும். மூன்று ஆண்டுகளுக்கு முன் எலெக்ட்ரானின் சுழற்சி கண்டுபிடிக்கப்பட்டிராவிட்டால் முதல் இரண்டு விடைகள் பல ஆண்டுகள் சரிவர விளங்காதவைகளாகவே இருந்திருக்கும். எலெக்ட்ரானின் இயக்கத் திசையைச் சார்ந்த இருவகைச் சுழற்சிகள் (spins) அந்த சமன்பாட்டின் முதல் இரண்டு விடைகளைச் சார்ந்தவை. இவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட சுழற்சி செயல்முறையில் கணக்கிடப்பட்ட மதிப்புடன் ஒத்திருந்தது. இப்பொழுது சுழற்சியைப்பற்றி இன்னும் சிறிது பார்ப்போம். எலெக்ட்ரானுடன் இணைந்து ஒளி வேகத்தில் இயங்கும் ஒருவித இயக்கமே சுழற்சி எனலாம். இந்த சுழற்சியை எலெக்ட்ரான் தன்னுள்ளே ஓர் அச்சைக்கொண்டுச் சுற்றுவதாகக் கருதினால் அந்த சுழல் வேகம் ஒளியின் வேகத்தைவிட சற்றே குறைந்து இருப்பது தெரியும்.

இதிலிருந்து எலெக்ட்ரானின் சுழற்சி எவ் வகையிலும் அதன் சாதாரண இயக்கத்தைச் சேர்ந்ததல்ல எனக் கூறலாம். ஓர் எலெக்ட்ரான் வேகமாக அல்லது மெதுவாகச் சென்றாலும், அமைதியாக இருந்தாலும் அதன் சுழற்சியின் மதிப்பு ஒன்றாகவே இருக்கிறது. சுழற்சி என்பது துகள்களின் அமைதி ஆற்றல் (rest energy) போன்ற ஓர் உள் பண்பு ஆகும். சுழற்சி மாறினால் துகளும் மாறும்.

சுழற்சி எவ்வாறு வெளிப்படையாகத் தோன்றுகிறது? ஒரு அணுவின் நிறமாலையைப்பற்றி விவரித்தபொழுது இதைப்பற்றிச் சற்று பார்த்தோம். சென்ற நூற்றாண்டின் இறுதியிலேயே ஒரு பொருளை காந்தப் புலத்தில் வைத்தால் அதனுடைய நிறமாலை வரிகள் பிரிந்து பல மங்கலான வரிகளாகத் தெரிகின்றன என்று

கண்டனர். காந்தப் புலத்தில் வைத்தால் எல்லா அணுக்களும் இப் பண்பை வெளிக்காட்டுகின்றனவென்று சற்றுப் பின்னுல் நிலை நாட்டப்பட்டது. 1925-ல் ஜீமான் விளைவு (Zeeman effect) என்ற இந்த விளைவை உலன்பெக், கோட்ஸ்மெட், என்ற இரு அறிவியலார் நன்கு விளக்கினர்.

மின் அணுவுக்குச் சுழற்சி உண்டு. அதாவது கோண உந்தம் உண்டு என்று விளக்கப்பட்டது. இது எவ்வாறு ஏற்படுகிறது என்பதைப்பற்றிக் கருதாமல் இச் சுழற்சி ஒருவகை இயக்கம் என்று நினைக்கலாம். ஆனுல், எலெக்ட்ரான் இயக்கம் மின்சாரமாகும். பல எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கம் மின்சாரத்தை ஏற்படுத்தும்.

மின்சாரம் காந்தப் புலத்தை ஏற்படுத்தும் என்பது ஒரு நூற்றுண்டாகத் தெரிந்தது. ஒரு மின் அணுவையே ஒரு சிறு காந்தம் எனக் கருதலாம். இச் சிறு காந்தத்தை ஒரு காந்தப் புலத்தில் வைத்தால் அந்தப் புலத்தில் இரு குறிப்பிட்ட திசைகளில் நிலையுற்று நிற்கும் என்பதை எளிதில் அறியலாம்.

நிலையான சமநிலை (stability) என்றுல் என்ன? ஒரு காந்தப் புலத்தின் திசையுடன் ஒருங்கே அமைந்தால் அதனுடைய நிலையாற்றல் (potential energy) குறைவாக இருக்கும். புலத்தின் திசையின் எதிர்ப்பில் இருந்தால் அதன் நிலையாற்றல் அதிகமாக இருக்கும்.

இந்த ஆற்றல்களின் வேறுபாடு என்ன? எலெக்ட்ரான் வெளியிடும் அலை நீளங்களை அளந்து இந்த ஆற்றல் மாறுபாட்டைக் கணக்கிட முடியும். நிறமாலையில் உள்ள வரிகள் மின் அணுவின் சுழற்சியின் இரு திசைகளால் பிரிக்கப்பட்டு இரட்டையாகின்றன.

நிறமாலையின் சில செறிவுமிக்க வரிகள் மூன்று நான்கு துணை வரிகளுடன் பிரிந்து காணப்படுவது எப்படி என்பது அடுத்த கேள்வியாகும். எலெக்ட்ரான் சுழற்சி மட்டுமல்லாமல், அணுக் கருவையும் அது சுற்றி வருவதால் ஓர் அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான் இரட்டைக் காந்தம்போல் இருக்கிறது. ஒரு காந்தப் புலத்தில் ஒரு காந்தம் எப்படி இயங்குகிறது? இரு குறிப்பிட்ட திசைக்குப் பதிலாக மூன்று, நான்கு அல்லது அதற்கும் மேலாக திசைகளில் நிலைத்து நிற்கிறது. ஒரு சிறு காந்தத்தைப்போல் உள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான் ஒரு நிலையான சமநிலைக்குத் திரும்பும்பொழுது இடையே பல நிலைகளிலும் அமைந்து விடுகிறது. ஓர் உச்ச ஆற்றலின் குறிப்பிட்ட முழுப் பகுதிகள் இந்த வெவ்வேறு நிலைகளுக்கு ஏற்றவையாகும். அதாவது, குறிப்பிட்டக் குவான்டம்

இடைவெளிகளால் பிரிக்கப்பட்ட ஆற்றல் அளவுகள் இவை. இம் மாதிரி குறிப்பிட்ட திசைகளில் மின்னணு நின்றியங்கு நிலே (space quantisation) என்பார்கள். நிறமாலையிலுள்ள ஒரு வரி, ஒரு மின்அணு, காந்தத்தால் எத்தனே திசைகளில் நிலைத்தியங்க முடியுமோ அத்தனைத் துணை வரிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. இவற்றின் அலை நீளமாறுபாடுகளைக் கணக்கிட்டால், அவை செய் முறையால் கிடைக்கும் மதிப்பீடுகளுடன் ஒத்துள்ளன. டிராக்கின் சமன்பாட்டிற்கு இன்னும் இரண்டு விடைகள் உள்ளன.

இன்னும் ஓர் எதிர்பாராத கண்டுபிடிப்பு

இந்த இரண்டு விடைகளும் ஒரே மாதிரி உள்ளன. மின் அணுவின் சுழற்சியைப்போலவே இதிலும் இரண்டு நேர் எதிர் மதிப்பீடுகள் உள்ளன. மின் அணுவின் மொத்த ஆற்றல் நேர்க் குறியுடையதாகவும், எதிர்க் குறியுடையதாகவும் இருக்கலாம். மின் அணு தனியே செல்லுகிறதா அல்லது மற்ற துகள்களுடன் சேர்ந்து இயங்குகின்றதா என்பதைப் பொருத்தவை இந்த ஆற்றல்கள்.

ஆனல், டிராக்கின் சமன்பாடு ஒரு தனித்தியங்கும் மின் அணுவைப்பற்றியது. மின்அணு ஒரே சமயத்தில் தனித்தும் கட்டுப் பட்டும் இருக்குமா? டிராக் இவை சரியானதல்ல என்று கருதினர். இம்மாதிரிச் சூழ்நிலையில் எதிர்க் குறியுள்ள மதிப்பீட்டினை பொருளற்றது என்று விட்டுவிடுவது வழக்கம். ஓர் அறையின் பரப்பளவு 20 சதுர மீட்டர் + அல்லது — குறியுடன் இருந்தால் எதிர்க்குறி உள்ளதை விட்டுவிடுகிறோம்.

டிராக் என்பவர் மின் அணுவைப் பொருத்தவரையில் இவ்வாறு எதிர்க்குறி உள்ளதை விட்டுவிடாமல் மின் அணுவைப் போல் மின் அணுவின் பிம்பம் ஒன்று உள்ளதாகக் கருதினர்.

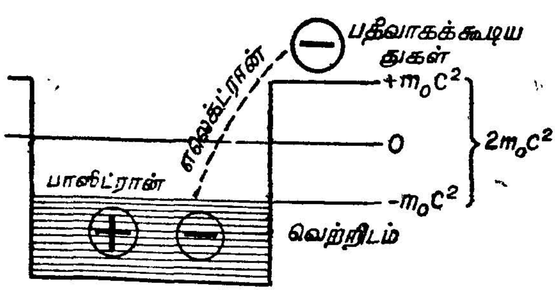
எப்படிப் பார்த்தாலும் எதிர்க் குறியுள்ள ஆற்றலை விலக்க மின் அணு மற்ற எந்தத் துகளுடனும் இணைந்துதான் இருக்க வேண்டும். ஆனல், டிராக்கின் சமன்பாடு தனித்து இயங்கும் மின் அணுவுக்காக அமைக்கப்பட்டது. டிராக் இந்த நிலையில் மின் அணுவின் பிம்பம் ஒரு வெற்று இடத்தில் உள்ளது. அது ஒரு துளை (hole) என்ற எண்ணத்தைக் தெரிவித்தார். ஒரு சுத்தப் பைத்தியக்கார எண்ணம்போல் இருந்தது அவருடையது. ஒரு கருவியின் துணையால் கண்டுபிடிக்கப்படாத துகள்கள் இருந்தால் அந்தக்கருவியைப் பொருத்தவரையில் வெற்றிடமே காணப்படும்.

ஓர் உலோகத்தின் அமைப்பை ஒரு வலிவற்ற மின்புலனல் ஆராய்வோம். மின்னேட்டம் எதிர்ப்படுகிறது. அதனல் உலோகத்

தில் ஓர் அம்மீட்டரை பாதிக்காத அணுக்களில் கட்டுப்பட்ட பல மின் அணுக்கள் உள்ளன. இவை அணுக்களில் ஆற்றல் குறைந்த நிலையில் ஒரு கிணற்றில் உள்ளவைபோல இருக்கின்றன.

வெற்றிடத்தை எந்தக் கருவியாலும் காண முடியாது. டிராக் பொது அறிவுக்குத் தெரிந்த இக் கருத்தை வேறு விதமாகக் கூறுகிறார். வெற்றிடம் எங்கும் மின் அணுக்கள் நிரம்பியுள்ளன. எங்கும் பரவியுள்ள வெளி முழுவதுமே ஒரு முடிவில்லாத வெற்றிடத்தை உருவாக்கக் காரணமாகிறது. கணக்கிடமுடியாத மின் அணுக்கள் எங்கும் பரவியுள்ள வெற்றிடத்தில் பல ஆற்றல் நிலைகளில் அமைந்து துகள்களான ஓர் அமைப்பை ஏற்படுத்துகின்றன. பௌலி என்பவரின் கொள்கையின்படி ஒரே ஆற்றல் மட்டத்தில் எதிர் சுழற்சியுடன் இரு மின் அணுக்களே இருக்க முடியும். இயற்கையில் எங்கும் நிலவியுள்ள மின் அணுக்களைக் கொண்ட கிணறு (well) மிக ஆழமாகவும் மிகப்பெரியதாகவும் உள்ளது. அதனுடைய உச்ச ஆற்றல் வரம்பு m_0c^2 ஆகும். அதனால் எல்லா மின் அணுக்களும் வெற்றிடத்தில் எதிர்க்குறியுடன் உள்ள ஆற்றல்களைக் கொண்டவை. ஒரு கருவியாலும் இக் கிணற்றிலுள்ள மின் அணுக்களைக் கண்டுபிடிக்க முடியாது. அத்தகையக் கிணற்றிலிருந்து வெளிவரும் மின்னணுக்கள்தான் கருவியில் தென்படும். கிணற்றிலிருந்து மின் அணு வெளி வரத் தடையின் (barrier) உயரத்திற்குச் சமமான m_0c^2 ஆற்றலுடன் அமைதி நிலை ஆற்றல் m_0c^2 தேவையாகிறது. அதாவது வெற்றிட மின் அணுக்கள் (vacuum electrons) ஒரு கருவியில் தென்பட அதற்கு $2m_0c^2$ ஆற்றல் வேண்டும்.

இந்த ஆற்றல் பெருமளவு ஆனது. கடந்த முப்பது ஆண்டுகளுக்குள்தான் இவ்வளவு ஆற்றல் உள்ள மின் அணுக்களை இயற்பியலால் இயங்க வைத்திருக்கின்றனர். டிராக் தன் கருத்தைத்



படம் 22

தெரிவிக்கையில் இப் பெருமளவு ஆற்றல் ஒரு கனவாகவே இருந்தது. ஓர் உலோகத்தில் இருக்கும் மின் அணுக்கள்போலவே வெற்றி

டத்தில் உள்ள மின் அணுக்களும் ஒரு கருவியில் அகப்படக் கூடாதா? பௌலியின் கொள்கைதான் இதற்கு விடை தருகிறது. பொருள்கள் ஒன்றோடொன்று செயல்படுகையில் இவற்றின் ஆற்றல்களில் மாறுபாடு ஏற்படுகிறது. இத்தகைய மாறுபாட்டில் தான் அந்த செயலைக்கண்டு பிடிக்கிறோம். ஒரு கருவியால் கண்டு பிடிக்கப்படுகையில் ஒரு வெற்றிட மின் அணு தன் ஆற்றல் நிலையில் மாறுபாடு அடைபடுகிறது. ஆனால், வெற்றிட அமைப்பில் எல்லா ஆற்றல் நிலைகளும் நிரம்பியுள்ளன. ஆகையால் வெற்றிட மின் அணுக்களை நம்மால் எக் கருவி உதவி கொண்டும் காணமுடியாது.

ஒரு துளையின் பிறப்பு

ஒரு வெற்றிட மின்அணு தேவையான ஆற்றல்பெற்று கிணற்றி லிருந்து வெளியேறுகிறதென எண்ணுவோம். அதன் ஆற்றல் நேர்க் குறியுடன் உள்ளதால் அதைத் தடையின்றித் தனித்து இயங்கும் துகளாகக் கருதலாம். இம் மின்அணு வெற்றிடத்தில் இருந்த இடத்தில் தற்போது நேர்மின்னூட்டம் ஏற்பட்டுள்ளதாக நினைக் கலாம். அங்கு ஒரு துளை ஏற்பட்டுள்ளது. குறைகடத்திகளைப் பற்றிப் படிக்கும்போது இத்தகையத் துளைகளைக் கண்டோம். ஒரு மின் அணு கடத்திநிலைக்கு (conduction-valence) உயர்ந்து கூடுகை நிலையில் ஒரு துளையை உண்டாக்குகிறது. கூடுகை நிலையில் அதன் ஆற்றல் எதிர்க் குறியுடன் இருந்தது. இவ் உவமை மேலும் உதவாது. குறைகடத்திகளில் துளை என்பது உண்மையிலேயே ஒரு காலியிடத்தைக் காட்டுகின்றது. கூடுகை நிலையிலிருந்து கடத்தி நிலைக்குச் செல்லும் மின்அணு இயக்கத்தை விவரிக்க இது பயன் படுகிறது.

வெற்றிடத்தில் ஒரு துளை என்பது வேறு மின்அணுவைப் போலவே துளையில் m_0c^2 மதிப்புள்ள ஆற்றல் உள்ளது. வேறுவித மாகக் கூறினால் மின் அணுத்துளை இரண்டும் இணையாகவே வெற் றிடத்திலிருந்து விளைகின்றன. இவை இரண்டும் இணையாக ஏற்பட $2m_0c^2$ ஆற்றல் தேவையாகிறது. ஒரு மின் அணு தங்குதடையின்றி இயங்கி ஒரு துளையுடன் சேர்ந்து வெற்றிடத்தை மறுபடியும் அடைந்து மறைந்துவிடலாம்.

இது மட்டுமல்ல. வெற்றிடத்திற்கு மறுபடியும் சென்று மறையும்பொழுது ஒரு மின்அணு, முன்பு வெற்றிடத்தில் இருந்து வெளியேற, தான் ஏற்ற ஆற்றலை வெளியிடவேண்டும். அதாவது, மின்அணு துளை இரண்டையும் ஏற்படுத்தின $2m_0c^2$ ஆற்றல் வெளி யாக வேண்டும்.

இந்த ஆற்றல் எந்த உருவத்துடன் தோன்றுகிறது? ஒரு மின் அணுவும் துளையும்சேர்ந்து அழியும்போது ஒரு காமா ஃபோட்டான்

γ-Ray வெளிப்படுகிறது. இந்த ஆற்றல் γ கதிர்களின் ஆற்றலுக்குச் சமமாக உள்ளது. மின்அணு, துளை இரண்டும் அழிகையில் அவற்றின் எதிர்ச் சுழற்சிகளுக்கேற்ப இரு γ ஃபோட்டான்கள் வெளிப்படுகின்றன. மின்னணு, துளை இவை யிரண்டின் உந்தங்கள் வெற்றிடத்தில் சுழியாதலால் இவை ஒன்ருகச் சேரும்பொழுது உந்தங்கள் ஒன்றை ஒன்று அழித்துக்கொள்கின்றன. ஆனல், ஒரு γ ஃபோட்டான் வெளிவருகையில் அதற்கு ஒரு துணை தேவைப்படுகிறது.

மின்அணு, நேர் மின்அணு இரண்டும் எதிர்ப்படுகையில் அவற்றின் இடையில் ஒரு அணுக் கருவோ அல்லது வேறு துகள்களோ இருக்க நேர்ந்தால் இவைகளின் ஆற்றல், உந்தம் இரண்டிலும் அவைகளும் பங்கேற்கும்.

வெற்றிடத்தின் சுருக்க வர்ணனை

டிராக்கின் கொள்கையைக் குவான்டம் எந்திரவியல் நிபுணர்களில் ஒருவராலும், ஏற்றுக் கொள்ள முடியவில்லை. ஏதோ ஒரு பொது அறிவுக் கெதிரான அர்த்தமற்றக் கருத்து என்று அதை எண்ணினர்.

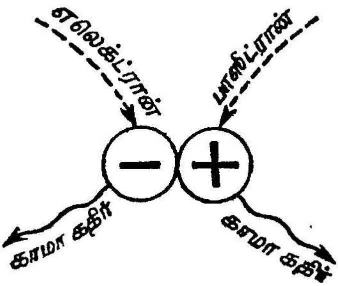
1932-ல் ப்ளாக்கெட், ஒக்கியாலினி என்ற இரு இயற்பியல் நிபுணர்கள் விண்வெளிக் கதிர்களால் (cosmic rays) பாதிக்கப்பட்ட போட்டோ தகடுகளில் (photographic plates) மின் அணுவாலும் மின் அணு நிறையுள்ள, ஆனல், எதிர்மின்னேட்டமுள்ள துகளாலும் ஏற்படுத்திய இரு கோடுகளைக் (tracks) கண்டு அறிவித்தார்கள். இத் தகடு, காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்டிருந்ததால், இரு திசைகளில் அமைந்த பாதைகள் நேர், எதிர்மின்னேட்டமுள்ள துகள்களால் ஏற்பட்டவை அவை என்பதில் ஐயமேயில்லை.

அன்றே டிராக்கின் கொள்கை வெற்றியடைந்து நிலை நாட்டப்பட்டது. அக் கொள்கையில் துளை எனப்பட்டது - நேர் மின்அணு (positron) என்று பெயரிடப்பட்டது. மீச்சிறு துகள்களில், எதிர்த் துகள்கள் - (antiparticles) என்ற வகையில், நேர் மின்அணு முதலிடம் பெற்றது. பின்னர் இவற்றைப் பற்றிப் பார்ப்போம். இந்தச் சாதனையினுல்மட்டும்கூட டிராக் கொள்கை, இயற்பியலில் பெருமதிப்புடன் திகழ்ந்திருக்கும். டிராக், இயற்பியலார் முன் ஒரு புதிய உலகையே திறந்து வைத்தார்.

வெற்றிடம் என்பது என்ன? டிராக்கின் கருத்துப்படி, மின் அணுக்கள் வெற்றிடத்தின் மேலுள்ள துகள்களுடன் செயல்படாது. வெற்றிடத்திலிருந்து, ஒரு மின்அணு வெளிப்படுகையில்

ஒரு நேர்மின் அணுவும் உண்டாகிறது. இவை இரட்டைகளாகவே பிறந்து இறக்கின்றன.

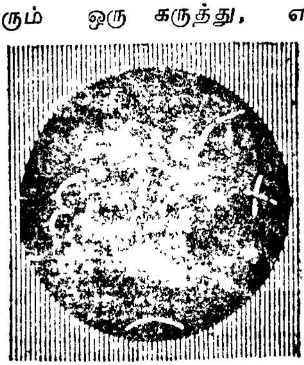
வெற்றிடத்தில் நிரம்ப இருப்பவை நேர் மின்அணுக்களாகவும் இருக்கலாம். இவை வெளிவருகையில் அவற்றுடன் மின்அணுக்கள் வெளிவரலாம். ஆனால், நாம் எங்கும் மின் அணுக்களை மிகையாகக் காண்பதால், வெற்றிடத்தில் அத் துகள்களே நிரம்பியுள்ளன, எதிர்த் துகள்களல்ல என்று கருதுகிறோம்.



படம் 23

ஆனால், இரண்டு வகைத் துகள்களும் சம எண்ணிக்கையாகத்தான் இருக்கவேண்டும். ஓர் அதிசயம், இவ் வுலகில் ஏன் இவ் விருவகைத் துகள்களும் சேர்ந்தழிந்து, வெறும் ஃபோட்டான்களால் நிறையவில்லை. ஆனால், நேர்மின் அணுவை மின் அணுக்கள் ஏதோ ஒரு சமயத்தில் தான் சந்திக்கின்றன. இயற்கை நல்லதற்கே இவ் விருவகைத் துகள்களை வெகுவெகு தொலைவில் தள்ளி வைத்துள்ளது.

விஞ்ஞான அடிப்படைக் கதை எழுத்தாளர்களிடம் நிலவி வரும் ஒரு கருத்து, எதிர்த்துத் துகள்களான உலகங்கள், வேறெங்கோ விண்வெளியிலுள்ளன என்பது. அவற்றில் நேர்மின் அணுக்களே மிகை. எதிர் மின்அணு எப்பொழுதோவரும் விருந்தாளி. மின் அணுவுக்கு எதிர்த்துத் துகள் நேர் மின்அணு உண்டென்றால் புரோட்டானின் எதிர்த் துகள் என்ன? புரோட்டான்கள் நிறைந்த வெற்றிடமிருக்கவேண்டும். எல்லையற்ற வெற்றிடத்தில் அனைத்துத் துகள்களுக்கும், இனி பிறப்பவை அழிந்தவை யாவற்றிற்கும் பிறப்பிடம் ஒன்று உண்டு எனலாம்.


படம் 24

நம் ஆழ்ந்த கவனத்தை ஈர்த்து, வியப்பூட்டும் இந்த டிராக் வெற்றிடத்திற்குப் பதில் வேறு சில எண்ணங்களை உருவாக்கி அவற்றைப் பின்னர் காண்போம்.

துகள்கள் இரட்டைகளாகவே போதிய அளவு ஆற்றல் பெற்ற வுடன் கிணற்றிலிருந்து வெளியேறும். முதன் முதல் வெளியேறக் கூடியவை மிகவும் நிறைகுறைந்த துகள்களான நியூட்ரினேக்களும், எலெக்ட்ரான்களும் ஆகும். புரோட்டானும், அதன் எதிர்த் துகளும் வெளிவர, மின்அணு இரட்டையின் ஆற்றல்போல இரண்டாயிரம் மடங்கு ஆற்றல் தேவைப்படும். நிறை அதிகமான துகள்கள், வெற்றிடக் கிணற்றிலிருந்து வெளிவருதல் எளிதல்ல.

முழுமையான வெற்றிடம்

ஒரு மின்அணு பாஸிட்ரான் இரட்டை அழிவடையும்பொழுது காமாக் கதிரான ஃபோட்டான்களே ஏற்படுகிறது. ஏன் வேருென்றும் தோன்றுவதில்லை.

ஒரு பில்லியர்ட் பந்து மற்ருென்றை மோதின பின்பு அவை இரண்டும் வெவ்வேறு திசைகளில் செல்லுகின்றன. இவ்வாறு மோதாமல் நிலையாக உள்ள ஒரு பந்தை மற்ருென்றிஞல் எவ்வளவு நெருக்கத்தில் சென்ருலும் நகர்த்தமுடியாது. ஒரு வண்டி அதனுடன் பூட்டப்படாத குதிரையால் இழுக்கப்படுவதுபோல.

ஒரு பொருள் வேறுவிதமாகவும் பாதிக்கப்படலாம். தரையை நோக்கிப் பொருள்கள் விழுதல், காந்தம் இரும்பை ஈர்த்தல், மின்னூட்டமுற்ற பொருள்கள் ஈர்த்தல், தள்ளப்படுதல் போன்று, ஈர்த்தல் என்ருலே, பொருள்கள் ஒன்றையொன்று வெகுதொலைவிலேயே பாதிக்கின்றன வென்ருகும்.

காற்றினூடே இத்தகைய விளைவு ஏற்படுகிறதெனத் தெரிவித் தனர். செய்முறையால் இது தவறு என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. புவி, சந்திரனையும் சூரியன் இவை யிரண்டையும் ஈர்த்தல், வெற்றிடத்தினூடேயும் நிகழ்கிறது. அணுக்கரு மின் அணுவை ஈர்க்கின்றது. பொருள்கள் ஒன்றையொன்று தொடாமலே பாதிக்கும் என்பது நமக்கு விளங்குகிறது.

ஒரு நூற்ருண்டிற்கு முன், புலம் (field) என்பது ஈதர் என்ற மிக மென்மையான ஊடகத்தால் நிரம்பியதென்றும், இதன் வழியாகத்தான் எத்தகைய விளைவும் நிகழக்கூடும் என்றும் கருதினர்.

இந்த நூலில் முன்பே விவாதித்துக் கண்ட இந்த ஈதரின் உண்மையிலேயே நம்பத்தகாத முரண்பாடான பண்புகளை நன்கு புரிந்து கொள்ளமுற்பட்டனர். ஒளியைப்பற்றிச் சொல்லப்பட்ட பல சோதனைகளாலும், ஐன்ஸ்டீனின் சார்பு நிலைக் கொள்கையும், ஈதரென்ற ஒன்று இல்லை என்பதை நிலைநாட்டின.

ஆனால், அதற்குப் பதில், இடைவெளிகளில் என்ன பரவி யிருக்கிறது. வெற்றிடமே இருந்தால் ஓர் ஊடகமின்றி எப்படி விளைவுகள் பரவுகின்றன? இக் கேள்விக்கு பெரிய வல்லுநர் களாலும் பதிலளிக்க முடியவில்லை.

சாதாரண அனுபவ அறிவையே நம்பியிருந்தால், அதனிட மிருந்து விடுபடுவது கடினம்தான். வெற்றிடத்தில்தான் யாவும் உள்ளன. ஒரு பொருளின் பருமன் நிலவியிருக்குமிடத்தையே, அப் பொருளென்றால், தவறென்றும் இல்லை. ஒரு பருப் பொருளும் இல்லாத இடத்தை வெற்றிடம், காலியிடம் என்கிறோம். வெற்றிடம் பருப் பொருள்களையும், பருப்பொருள்கள், வெற்றிடத் தையும் பாதிப்பதில்லை. இவற்றிற்குள் ஒருவித இணைப்புமில்லை. இதிலிருந்து பொருள்கள் ஒன்றையொன்று, பாதித்துக் கொள் கின்றன. ஆனால், இடைவெளிக்கும் இவற்றிற்கும் ஒரு தொடர்பும் இல்லை எனக் கூறலாம்.

வெற்றிடமே பொருள்களைச் சார்ந்தது

இக் கருத்துகள் சரியானதல்ல எனக் கருதி ஒரு விஞ்ஞானி இவை எல்லாவற்றையும் மறு பரிசீலனைக்கு உட்படுத்தினார். அவர் தான் 'ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன்' என்பவர், அவருடைய கொள்கை 'சார்புப் பொதுக் கொள்கை' எனப்படுவது ஏற்கெனவே வெகு வேகமாக செல்லும் பொருள்களைப்பற்றிய அவருடைய சார்புச் சிறப்புக் கொள்கையைப்பற்றிப் பார்த்தோம். அவருடைய பொதுக் கொள்கை எல்லாப் பொருள்களையும் இடைவெளியையும் இணைக்கும் பரந்த கொள்கையாகும். பருப்பொருளால் அதைச் சுற்றியுள்ள வெளியிடம் பாதிக்கப்படுகிறது என்பது அக் கொள் கையின் முதல் அடிப்படை ஆகும். ஒரு பொருளும் இல்லாத எங்கும் ஒரே சீரான இடைவெளியில் ஒரு பொருள் அடைந்ததும் அதனுடைய சீரான பண்பை மாற்றிவிடுகிறது. இந்தச் சீரான பண்பாட்டை எப்படி அறிந்துகொள்வது? ஜியோமதியின் (geometry) உதவியால்தான் விளக்கமுடியும். வெறும் காலி இடத் தைப்பற்றிய ஜியோமதி 'யூக்லிடின் ஜியோமதி' ஆகும். இதன்படி இணைகோடுகள் ஒன்றையொன்று எங்குமே சந்திக்காது. இரு புள்ளி களுக்குள்ள மிகக் குறைந்த தூரம் ஒரு நேர்க்கோடு ஆகும். வேறு சில வெளிப்படையான, நிரூபணம் தேவையற்ற சில உண்மைகளும் இதில் உண்டு.

இந்த நூற்றாண்டின் முதல் பகுதியில் 'லொபச் சாவிஸ்கி' என்ற ருஷ்யக் கணித வல்லுநர் இணைகோடுகள் சேராவென்ற விதியில் ஒரு குறை உள்ளதைக் கண்டார். இணைகோடுகள் எங்கும் சந்திக்காது என்ற அடிப்படை உண்மையை பயன்படுத்தாமலேயே

யூக்லிடின் ஜியோமதியைப்போலவே மற்றொன்றை உருவாக்கிக் காட்டினார். ஆனால், அது பொதுஅறிவிற்கு முரண்பாடாக இருந்ததால் ஒருவருக்கும் பல ஆண்டுகள்வரை விளங்காது இருந்தது. எல்லா இடங்களிலும் எத்தகைய சூழ்நிலையிலும் பயன்படும் ஒரு ஜியோமதி தேவையில்லை என்றும் ஓரிடத்தில் உள்ள பொருள்கள், அவற்றுள் நிலவியுள்ள அமைப்புகள், அவற்றிற்கேற்ற ஜியோமதிகள் இருக்கலாம் என்றும் கூறினார். மனிதன் எப்படிக் கடவுள் தந்த ஜியோமதியை மாற்ற முடியும் ? இவருடைய கருத்து மதக் கோட்பாடுகளையே எதிர்ப்பது போலிருந்தது.

இவருடைய எண்ணங்கள் ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கைகளில் இடம் பெற்றன. பொருள்களில்லாத இடம் இல்லாததுபோல் ஒரு சீரான ஒரே இயல்புள்ள இடைவெளியும் இல்லை எனலாம். பொருள்களைச் சுற்றியுள்ள இடைவெளியில் இரு புள்ளிகளுக்கு இடையே உள்ள மிகக் குறைந்த கோடு ஒரு நேர்க்கோடல்ல ? 'ஜியோடெசிக்' என்ற வளைந்த கோடே ஆகும். இந்த வளைகோட்டின் இரு முனைகள் பொருள்களுக்கு எவ்வளவு அருகே உள்ளனவோ அதற்கேற்பப் பொருள்களும் அதிக நிறை உள்ளதாகவும், வளைகோடு அதிக வளைவாகவும் இருக்கும். இதை எப்படி அறியலாம் ? ஒளிக்கதிர்களின் உதவியால் அறியலாம்.

சாதாரணப் பொருள்களின் வளைவு (curvature) மிகக் குறைவு. அது எளிதில் தென்படுவதில்லை. சூரியனைப்போன்ற ஒரு நிறை மிக்கப் பொருளைப் பயன்படுத்தி விண்மீன்களின் இடையே உள்ள இடைவெளியில் சோதனைசெய்து பார்க்கலாம். சாதாரண இயற்பியலில் ஒரு நேர்கோட்டிற்கு ஓர் ஒளிக்கதிரை எடுத்துக்காட்டாகக் கொள்ளலாம். இது சரியல்ல என்று ஐன்ஸ்டீன் நிரூபித்தார்.

ஒரு தொலைநோக்கியின் உதவியால் ஒரு விண்மீனின் படத்தை எடுப்போம். அதே விண்மீனின் கதிர்கள் சூரியனுக்கு அருகில் வரும்பொழுதும் அதன் படத்தை எடுப்போம். முதலில் எடுத்த படம் இரவிலும் அடுத்தது சூரியன் முழுக் கிரணத்திலும் இருக்கும்பொழுது எடுக்கப்பட வேண்டும்.

இவ்விரு படங்களிலும் விண்மீன் ஒரே இடத்தில்தான் இருக்கும் என்று பழைய இயல்பியல்படிக் கூறலாம். ஓர் ஒளிக்கதிர் சூரியனுக்கு அருகிலோ அல்லது அதற்கு வெகு தூரத்திலோ சென்றால் வேறுபாடு ஏதுமிருக்காது. சார்புப் பொதுக் கொள்கையின்படி சூரியனுக்கு அருகில் செல்லும்போது ஓர் ஒளிக்கதிரின் பாதைவளைவு அடையும். நிழற்படத்தில் விண்மீன் பதிந்துள்ள இடம் சற்று இடம் மாறி இந்த வளைவை எடுத்துக்காட்டும்.

1919ஆம் ஆண்டு ஆகஸ்டு மாதத்தில் அரேபியப் பாலை வனத்தில் முழு சூரியகிரகணத்தைப் படமெடுத்துப் பார்த்து ஐன்ஸ்டீனின் கூற்றின் உண்மையைக் காண விஞ்ஞானிகள் சோதனைசெய்து அது முற்றிலும் உண்மை எனக் கண்டனர். அந் நாளில் இருந்து வெற்றிடத்தைப்பற்றிய கருத்துகளை இயற்பியலார் மாற்றிக்கொள்ளத் தலைப்பட்டனர். வெறும் இடைவெளி என்பது வெறும் பொருள்கள் அன்றிப் புலங்களும் நிறைந்தது என்பதெனக் கருதப்பட்டது.

பருப்பொருள்களும் புலங்களும்

ஒரு புலம் என்பது என்ன? ஓரிடத்தில் பொருள்கள் வைக்கப் பட்டுப் பாதிக்கப்பட்டால் அவ் விடத்தில் ஒரு புலம் உள்ளதாகக் கூறுகின்றனர். ஆனால், ஒன்றையொன்று பாதிக்காதப் பொருள் களே இல்லை. எல்லாப் பொருள்களும் சிறு துகள்களால் ஆனவை. அவற்றில் ஒன்றுகூட மற்றவற்றைப் பாதிக்காமல் இருப்பதில்லை.

இதனால் புலங்கள் எங்கும் எப்போதும் நிலவி இருக்கின்றன. பொருள்களுக்கிடையே மட்டுமல்லாமல், பொருள்களுக்குள்ளும் உள்ளன எனக் கூறலாம். இதுதான் புலத்தின் முக்கிய முதல் அடிப்படைப் பண்பாகும். புலங்கள் எங்கும் உண்மையாக உள்ளவை. பருப்பொருள்கள்போல, எனக் கூறலாம்.

பருப்பொருளுக்கும் ஒரு புலத்துக்கும் முக்கியமான வேறுபாடு பருப்பொருளை, எளிதில் கண்டறியலாம். ஒரு புலத்தை (புவி ஈர்ப்பு, மின், அணுக்கரு புலங்கள்) இவ்வாறு அறியமுடியாது. ஒரு புலத்தைக் காணவே முடியாது எனக் கூறுவதற்கில்லை. ஒரு ஆப்பிள் தரையை நோக்கி விழும்போது புவிஈர்ப்புப் புலத்தின் செயலைக் காண்கிறோம். தன்னைத்தானே வெளிக்காட்டும் பண்பும், முக்கியமாக ஒளிப்புலத்துக்கு உண்டு. ஒளி என்பதே ஒருவகை சிறப்பு மின்காந்தப் புலமாகும்.

ஃபோட்டான் என்ற கருத்தை ஐன்ஸ்டீன் தம் 'ஒளிமின் விளைவுக் கொள்கை'யில் புகுத்தினார். இது ஒரு முக்கியமான கருத்து ஆகும்.

புலங்களைப்பற்றிய அறிவு வளர்ந்துகொண்டே வந்துள்ளது. 1872-ல் ஸ்டோலிடாவ் என்பவர் ஒளி, பருப்பொருளைப்போல் செயல்பட்டு மின் அணுக்களை ஓர் உலோகத்திலிருந்து வெளிப் படுத்தும் எனக் கண்டார். 1900 ஆண்டில் லெபிடவ் என்பர் பொருள்களின்மீது ஒளி அழுத்தம் ஏற்படுத்துவதைக் கண்டார். இவ் விரண்டு சோதனைகளும், 'ஃபோட்டான்' என்ற கருத்தும்,

மின்காந்த அலை பருப்பொருள் பண்புகளை உடையது, அதாவது பருப்பொருள் துகள்கள்போல் செயல்படும் என்பதை ஐயமின்றி நிரூபித்தன.

பருப்பொருளுக்கும் புலத்துக்கும் இடையே நிறுவப்பட்ட முதல் பாலம் இதுவே, டீப்ராயி என்பவர் வேறு வழியில் இப் பாலத்தை நிறுவினார். மின் அணுக்கள் அலைகளின் பண்புடன் செயல்படும். அதாவது பருப்பொருள் ஒரு புலம் மாதிரி செயல் படலாம் என்றார்.

எங்கும் எல்லையற்றுப் பரவியுள்ள புலத்துக்கு, நிறையும் மற்ற பரிமாணங்களும் உண்டு. பரிமாணங்களுக்கு உட்பட்ட ஓர் எல்லைக்குள் அடங்கின பருப்பொருள் இவற்றை இழந்து இருக்க லாம்.

இந் நிலையில் பருப்பொருள் புலம் என்ற பாகுபாட்டை தவிர்த்து இரண்டையும் ஒன்றாக ஏற்றுக் கொள்ளலாமா? இல்லை. அதிக ஆற்றல்கள் உள்ள நிலையில் ஒரு புலத்தின் பருப்பொருள் பண்புகளும், அதிக ஆற்றல் உள்ள துகள்களில் புலத்தின் பண்பு களும் வெளிப்படுகின்றன. குறைந்த ஆற்றல்களில் இரண்டும் தனிப் பாகுபாடுகளுடன் உள்ளன.

வெற்றிடமென்பதே கிடையாது

ஒரு மின்அணு எதிர்மின்னணு என்ற இரட்டைப் பிறப்பதை ஒரு நிழல்படத்தில் பார்த்தோம். இந் நிகழ்ச்சியில் வெற்றிடம் வெளிக்காட்டப்படுவதுமட்டுமல்ல. இது ஒரு புலம் பருப்பொரு ளாக மாறுவதன் முதல் உதாரணமாகும்.

விரைவிலேயே, டிராக் கொள்கைப்படி இதன் எதிர் மாற்றமும்-பருப்பொருளும் புலமாக மாறுவது-ஒரு மின்அணுவும், நேர் மின்அணுவும் சேர்ந்தழிந்து இரு ஃபோட்டான்கள் பிறப்பது நிரூபிக்கப்பட்டது. மின்அணுவும் நேர் மின்அணுவும் வெற்றி டத்தில் மறைந்து ஃபோட்டான்களாயின.

ஓர் அணுவிலுள்ள மின்அணு அதிக ஆற்றல் நிலையிலிருந்து, குறைந்த ஆற்றல் நிலைக்கு இறங்கும்பொழுது, ஒரு ஃபோட்டான் வெளியாவது இதுபோல்தான். ஆனால், மின்அணு அப்படியே அணுவில் இருக்கிறது.

உண்மையில் நடப்பதை முழுமையாகப் பார்ப்போம். இங்கே தான் வெற்றிடம் தன்னுடைய புலம்போன்ற தன்மையை வெளிக்காட்டுகிறது. ஓர் அணுவில் ஒரு மின்அணு தன்னுடைய ஆற்றலில் ஒரு பகுதியை இழக்கிறது. ஒரு மின்அணு எல்லா

இயக்க ஆற்றலையும் இழந்து அசைவற்ற நிலைக்கு வரலாம். ஆனால், ஒரு மின்அணு மின்அணுவாக இருக்கவேண்டுமானால் தன் முறையான அல்லது தகுதி ஆற்றலை (rest energy) இழக்காது. $E_0 = m_0c^2$ அளவு ஆற்றலை இழந்தால் ஒரு துகளின் அசைவற்ற நிலை நிறையை இழக்க நேரும். ஒரு துகள் என்பதற்குரிய சாரமே இல்லாமலே ஆகிவிடும். மின்காந்தக் குவான்டத்திற்கும், ஒரு துகளுக்கும் வேறுபாடே, துகள் அசையா நிலையில், தனக்குரிய நிறையுடனிருக்கமுடியுமென்பதே.

ஒரு மின்அணு வெற்றிடத்தில் தன் இரட்டையான, பாசிட்ரானுடன் ஆற்றலை இழந்து மாறுகையில் அவற்றின் நிறை ஒரு சுவடிடாமல் மறைவதில்லை.

நிறை தன் பண்புமாறிப் புலமாகவும், ஆற்றல் குவான்டம் அதாவது ஃபோட்டானாகவும் மாறிவிடுகின்றன. அதனால், வெற்றிடத்தில் உண்மையான மின்அணுக்களில்லை, ஒரு கருத்தாகவே இருப்பவை எனலாம்.

சாதாரணமாக நமக்குத் தெரிந்த வெற்றிடம் என்ன என்பதிலிருந்து தொடங்கி ஒரு புது உருவத்தை அதற்குக் கொடுத்து பிறகு இரண்டையுமே சரியானதல்ல என்று தள்ளிவிட வேண்டியதாயிற்று. ஒரு மின்அணுவும் ஒரு நேர் மின்அணுவும் மோதுகையில் γ ஃபோட்டான், விளைவதுபோல γ ஃபோட்டான் இரண்டு துகள்களாக-மாறுவதையும் இயற்கையில் எதிர்பார்க்கலாம். γ ஃபோட்டானின் ஆற்றல் $2m_0c^2$மேல் இருந்தால் இத்தகைய மாற்றம் ஏற்படுகிறது. ஃபோட்டான்கள் இருப்பதைக் கண்டு பதிவுசெய்து கொள்ளமுடிகிறது. ஆனால், வெற்றிடத்தினை அதிலிருந்து ஒரு மின்அணு ஒரு நேர் மின்அணு வெளிவரும்வரை அறிந்துகொள்ள முடியாது. இந்த நிலையை எப்படி ஏற்றுக்கொள்ளமுடியும்.

இதில் வியக்கத்தக்கதொன்றும் இல்லை. ஃபோட்டான்களின் ஆற்றல் குறைவாக உள்ளவரை ஃபோட்டான்களாகவே பதிவு ஆகின்றன. இரட்டைத் துகள்களாக மாறும் அளவிற்கு அவற்றின் ஆற்றல் மிகுதியாக இருந்தால்தான் ஃபோட்டான்களின் வெற்றிடப் பண்புகளை அறிய தொடங்குகிறோம். ஃபோட்டான்கள் மறைந்து மின்அணு, நேர் மின்அணு தோன்றுகின்றன. வெற்றிடம் என்றாலே பருத் துகள்கள், புலம் குவான்டங்களாகவும், புலம் குவான்டங்கள் துகள்களாகவும், மாறுகின்றன என்பதே ஆகும். இப்பொழுது யாவும் சற்றுத் தெளிவாகத் தெரிகிறது. பருப் பொருள்களுக்கும் புலங்களுக்கும் இடையே உள்ள இடைவெளி சேர்க்கப்பட்டுவிட்டதால் இரு திசைகளிலும் போக்குவரத்து

நடக்கக்கூடும். ஆனால், ஒரு முக்கிய நிப்பந்தனை என்னவென்றால் இரண்டையும் சேர்க்கும் பாலத்தின் உயரம் $2m_0c^2$ ஆற்றல் ஆகும். இவ் ஆற்றலின் அளவு மின் அணுக்களுக்கு மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட்களுக்குமேலும் புரோட்டான்களுக்கு ஆயிரம் மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட்களுக்குமேலும் ஆகும். வெற்றிடம் என்ற சொல் பழக்கத்தில் இருப்பதால் அதையே பயன்படுத்துவோம். ஆனால், வெற்றிடம் என்றாலே ஒரு புலன் என்று பொருளாகும். அதை ஒரு பெரிய கடலாகவும் டால்ஃபின் என்ற கடல் மீனைப் போல் துகள்கள் அதன் உள்ளும் வெளியும் குதித்துக் கொண்டிருப்பது போலவும் எண்ணலாம்.

திமிங்கலங்கள் எதன்மேல் களைப்பாறுகின்றன

திருத்தியக் குவான்டம் எந்திரவியல் எந்தத் திமிங்கலங்களைச் சார்ந்து நிற்கிறது என்பதைப் பார்ப்போம். மூன்று முக்கிய திமிங் கலங்கள், ப்ளாங்கின் குவான்டம் கொள்கை, ஐன்ஸ்டீன் சார்புக் கொள்கை, டி பிராலியின் துகள்களின் அலைப் பண்புக் கருத்து என்பவையாகும்.

இவற்றில் கடைசியில் குறிப்பிட்டதைச் சற்றுக் கவனிப்போம். வானியல் பரிமாணங்களுக்கு உகந்த அந்தப் பொதுச் சார்புக் கொள்கையிலிருந்து, மிகச் சிறு துகள்களுக்கானக் குவான்டம் கொள்கைக்குத் தாவினதே, சரியானதாகத் தோன்றவில்லை.

ஓர் அளவிற்குப் பொருத்தமான கோட்பாடுகள் வேறு அளவில் உள்ள பொருள்களுக்குப் பொருத்தமானதாக இரா. ஐன்ஸ்டீனின் நேர, இடக் கருத்துகளை நுண்ணுலகிற்குப் பயன்படுத்து வதற்கென்ன உரிமை நமக்குள்ளது? டி பிராலியின் கொள்கை, செயல்முறையில் நிரூபிக்கப்பட்டதால், அவ் உரிமையைப் பெறுகிறோம். எங்குமே துகள்கள் அலைகளுக்குரிய பண்புகளை வெளிக்காட்டுகின்றன. முடிவற்ற பரந்த நிலவும் தன்மையினாலும் எப்பொழுதும் அசைவுறும் தன்மையாலும் அலைகளை, புலங்கள் என்றே கருதலாம். ஆக டி பிராலியின் கொள்கை, பருத் துகள் களுக்குப் புலத்தின் தன்மையுண்டு என்று கூறுவதேயாகும்.

புலத் தன்மைகளை. நுண் துகள்களெப்படிக் காட்டுகின்றன? மின் அணுக்களையும் மற்ற துகள்களையும், ஓர் இடத்தில் மேகம் போன்று பூசியே குறிப்பிடமுடிகிறது. இயற்பியலார், ஒரு புள்ளியில் நிலையாகக் குறிக்கப்பட முடியாதவை (non-localised) இவையெனக் கூறுகின்றனர். ஆனால் அடிப்படையில் ஒரு துகளின் வேகத்தைக் கணக்கிட முயன்றால், அது எங்கு உள்ளதென்று

சொல்ல இயல்வதில்லை. ஒரு புலமும் இத்தகையதே. அது எங்கும் நிலவியுள்ளது. இங்குதான் உள்ளது என்று உறுதியாகக் கூற முற்பட்டால் தோல்வியே அடைவோம்.

ஒரு மின்அணுவின் வேகம் அதிகரித்தால் அதன் நிறை அதிகரிக்கிறது. அத் துகள் இந்தக் கூடுதல் நிறையை எங்கிருந்து பெறுகிறது. மின் புலங்களால் மின்அணு முடுக்கப்படுகிறது. அப்பொழுது, புலம் மின்அணுவினுள் நுழைந்து ஆற்றலைத் தருகிறது என்று கருதலாம். ஐன்ஸ்டீன் வாய்பாட்டின்படி ஆற்றல் அதிகரிப்பதால் மின்அணு நிறையும் அதிகரிக்கும்.

ஆனால், இம் முறையில் நிறையை, புலத்திலிருந்துத் துகள்களுக்கு முடிவின்றி ஏற்றிக்கொண்டே போகமுடியாது. ஓரளவிற்கு மேல், இயக்கவாற்றல், தகுதியாற்றலுக்குச் சமமான பிறகு ஒரு புது விளைவு உருவாகிறது. அத் துகளின் அலை, அதாவது புலத்திற்கு உரிய தன்மை மிகுதியாகிறது. அத் துகள் ஒரே சமயத்தில், தன் தகுதியாற்றல், பெறப்பெற்ற ஆற்றல் இரண்டையும் புலத்திற்குரிய குவான்டமாக மாற்றிக்கொள்கிறது.

தன் பண்புகளை இழக்காமல் தன்னைக் காப்பாற்றிக்கொள்ளவே ஒரு துகள் நிறையை அதிகரித்துக்கொண்டு வேகம் அதிகரிப்பதை எதிர்ப்பதாக நினைக்கலாம். இவ் வெதிர்ப்புப் புலமாக மாற்றம் அடைவதற்குமுன் பெருமளவிற்கு வலுக்கிறது. துகள்கள் ஒளி வேகத்தை அடையவேமுடியாது. புலங்களும் வேறு வேகத்தில் செல்லவே முடியாது.

துகள்கள் உருமாறுகின்றன

இதுவரை, மின்அணு நேர் மின்அணுக்களின் மாற்றங்களைப் பற்றிப் பார்த்தோம். நியூட்ரான் கண்டுபிடிப்பிற்குப் பிறகு, அத் துகளும் மாறுபாடடையும் என்பதை அறிந்தனர். ஆனால், புலக் குவான்டங்களாகாமல், நியூட்ரான் வேறு துகள்களாக மாறுகின்றதென்று கண்டனர்.

ஒரு நியூட்ரான், புரோட்டான், மின்அணு, நியூட்ரினோ என்ற மூன்று துகள்களாக மாறுமென்று முதலில் கண்டனர். பீட்டாச் சிதைவு என்று இதைக் கூறுவர். இம் மாறுதலேற்பட, நியூட்ரான் தனித் துகளாகக் கட்டின்றியிருக்க வேண்டும் அணுக்கருவிலுள்ள, நியூட்ரான், புரோட்டானுகவும் பை-மெசானுகவும் மாறும். சுயேச்சையாக இருக்கும் பை-மெசான் ம்யூ-மெசானுகவும் நியூட்ரினோவாகவும் சிதைவுருகிறது. ம்யூ-மெசான் பிறகு மின் அணு, நியூட்ரினோ, எதிர் நியூட்ரினோ என்ற மூன்று துகள்களாகச் சிதைவுறுகிறது.

தனித்தியங்கும் நியூட்ரான் :—

நியூட்ரான் ⟶ புரோட்டான் + மின்அணு + நியூட்ரினோ, எனவும் அணுக்கரு நியூட்ரான்,

நியூட்ரான் ⟶ புரோட்டான் + பை-மெசான்

பை-மெசான் ⟶ ம்யூ-மெசான் + நியூட்ரினோ

ம்யூ-மெசான் ⟶ மின்அணு + நியூட்ரினோ + எதிர் நியூட்ரினோ அதாவது

நியூட்ரான் ⟶ புரோட்டான் + மின்அணு + 2நியூட்ரானோக்கள் + எதிர் நியூட்ரினோ என்று சிதைவுறும்.

இவ் விருவகைச் சிதைவுகளும், எண் கணக்கில் ஒரே மாதிரியுள்ளது. ஆனல், அணுக்கருவிலுள்ள பை-மெசான், சிதைவுறுவதில்லை. ஆதலால், இவை ஒரே வகையானவை அல்ல எனலாம். அணுக்கருவின் எளிதில் அழியாத் தன்மைக்கு அதனுடன் செயல்படும் மின் விசைகளும் பெருந்திறனுள்ள அணுக் கரு விசைகளும் காரணமென முன்னரே கண்டோம்.

ஒரு புது வகை விசையிருந்தால், அதற்கொப்ப புது வகை புலமிருக்க வேண்டும். அத்தகைய புலத்துக்கேற்ற புது குவான்டமிருக்கவேண்டும். மின்காந்த இடை விளைவுகளை நிகழ்விப்பவை ஃபோட்டான்களெனவும், அதுபோல அணுக்கரு இடையீட்டு விளைவுகளை (interaction) நிகழ்விப்பவை மெசான்களெனவும் கருதலாம். ம்யூ-மெசான்கள், அணுக் கருக்களுடன் வலுக் குறைந்த இடையீட்டு விளைவுகளையே நிகழ்த்துவதால், அணுக் கருப் புலங்களுக்கொத்தக் குவான்டங்களாக, அவற்றைக் கருத முடியாது.

முடிவாகக் கூறினல், பை-மெசான்கள் தான், அணுக்கருக்குரிய குவான்டங்களெனலாம். ஆனல், இவற்றிற்கு ஃபோட்டான்களுக்கல்லாத அமைதி நிலை நிறையுண்டு. இந் நிறை மின் அணுவைப்போல ஏறத்தாழ முந்நூறு மடங்காகும். மிகச் சிறு துகள்களைப் பார்க்கும்பொழுது இதையொரு பெரிய நிறை என்றே எண்ணலாம். இத் தன்மையால் அவை ஒளிவேகத்தில் செல்ல மாட்டா. துகள்கள்போல் உள்ளவையானலும் அவை குவான்டங்களே. பருப்பொருள்களையும் புலங்களையும் சீராக இணைத்த முயற்சி முறிகிறது.

பை-மெசான்கள், இரட்டைத் தன்மையுள்ளவைகளின் எல்லையைக் காண்பிக்கின்றன. நிறை உள்ளவை ஆதலின் அவை பருப்பொருள்களாகவும், தற் சுழற்சியின்மையால், புலங்கள் போன்றுமுள்ளன.

இதுபற்றிச் சற்று ஊன்றி நோக்குவோம். பருப்பொருள்களுக்கும், புலங்களுக்குமுள்ள மற்றுமொரு முக்கிய வேறுபாடு தற்சுழற்சியாகும். குவான்டம் எந்திரவியல் வளர்ச்சியால் இயற்பியலார் நிலைநாட்டிய உண்மைகளில் இதுவும் ஒன்று. துகள்களாக உண்மையில் பாகுபடுத்தப்பட்டவைகளுக்குத் தற்சுழற்சி ($h/4\pi$) அதாவது குவான்டம் மாறிலியில் சரிபாதியே ஆகும். புலக் குவான்டங்களின் தற்சுழற்சி, சுழி (zero) அல்லது குவான்டம் மாறிலியின் ($h/2\pi$) முழுவெண்மடங்காகத்தானிருக்க முடியும்.

தற்சுழற்சி எண், மிகச் சிறுதுகள்கள், குவான்டங்கள் இவற்றின் தனிச் சிறப்புத்தன்மைகளில் ஒன்று என்பதற்குப் பல காரணங்களுண்டு.

ஒரு கூட்டத்திலுள்ள எந்த இரண்டு மின்அணுக்களும் ஒரே நிலையில் இருக்கமுடியாதென பௌளி கொள்கை கூறுகிறது. பகுதித் தற்சுழற்சி எண் ($\frac{1}{2}$ $h/2\pi$) உள்ள மின்அணு புரோட்டான், நியூட்ரான் யாவும் இக் கொள்கைக்கு உட்பட்டவை.

தற்சுழற்சி எண் சுழியாகவோ, முழு எண்ணாகவோ உள்ளவைகளுக்கு இக் கொள்கை பொருந்தாது. அண்டவெளியில் எங்கும் பரவியிருக்கும் ஃபோட்டான்களில் எத்தனையோ ஒரே நிலையில், ஒரே தற்சுழற்சி எண்-ஒரு ப்ளாங்க் மாறிலியுள்ளவையாக இருக்கலாம்.

இப் பாகுபாட்டின்படி, $\frac{1}{2}$ தற்சுழற்சியுள்ள ம்யூ-மெசான் அணுக்கருப் புலத்தைச் சேராது. ஆனால், பை-மெசான்கள் தற்சுழற்சியில்லாதவை. ஆதலால், அவை புலக் குவான்டங்களாகும். ஆனால், அவை நிறை உள்ளவையாக இருக்கின்றனவே !

பை-மெசானின் இரு முகங்கள்

இயற்பியலாரை வியக்கவைத்தவைகளில் இது ஒன்று. ஒரு நியூட்ரானை புரோட்டான், பை-மெசான் இவற்றின் சேர்க்கை என்றெண்ணினால், எக் கணக்காலும் அது தவறுகிறது. நியூட்ரான் நிறை 1,839 மின் அணுக்களின் நிறை புரோட்டான் 1,836 மின் அணு நிறை உடையது. பை-மெசான் 273 மின்அணு நிறை உடையது. நியூட்ரான் ஒரு பை-மெசானை வெளிவிடுகையில் அதன் நிறை 273 மின்அணு நிறை குறையவேண்டும். ஆனால், மூன்று மின்அணு நிறைதான் குறைகிறது.

ஒரு தனி (free) நியூட்ரான் சிதைவுருகையில், இச் சிக்கல் ஏற்படுவதில்லை. ஒரு மின்அணுவையே இழக்கிறது. மேலும், அம் மின்அணுவுக்கும் நியூட்ரினோவுக்கும் மின்அணுவுக்கான இரு மடங்கு தகுதியாற்றலைத் தருகிறது. எஞ்சியுள்ள தன் நிறை ஒரு

புரோட்டான் நிறையாகும். நியூட்ரானிலிருந்து பை-மெசான் பிரித்தெடுக்கப்படுவதை எவரும் பார்த்ததில்லை. 273 மின்அணு நிறை இழப்பதையும் கண்டதில்லை.

ஒரு நியூட்ரான், எதிர் மின்னூட்டமுள்ள ஒரு பை-மெசானை வீசி எறிகிறது. ஒரு புரோட்டான் அதை பிடித்துக்கொண்டு நிறை அதிகமுள்ள நியூட்ரானுகிறது. அந்த நியூட்ரான், மெசானைத் திரும்ப எறிந்துவிட்டு, சாதாரண புரோட்டானுகிறது. இலேசான புரோட்டான் மெசானைப் பெற்று சாதாரண நியூட்ரானுகிறது. இந்தப் பந்து விளையாட்டில், இரண்டாவது நிகழ்ச்சி விதிக்குட்பட்டது. முதல் நிகழ்ச்சி நடக்கக்கூடாதது.

ஏனென்ருல், எத் துகளும் தகுதி நிறையைவிடக் குறைந்த நிறையுடன் இருக்க முடியாது. முதல் நிகழ்ச்சியில் 273 மின்அணு நிறை இழப்பால் தகுதி நிறைக்குக் குறைந்த புரோட்டான் ஏற்படுகிறது. வேறுவிதமாகக் கூறினுல் நியூட்ரான் 3 எலெக்ட்ரான் நிறையைவிட அதிக நிறையுள்ள பந்தை வீசியெறிய முடியாது. எனவே, ஒரு மெசானை அது வெளியிட வேண்டுமானுல் அதனுள் 270 மின்அணு நிறைக்கு ஈடான ஒன்றைக் கண்டுபிடிக்கவேண்டும். இது ஆற்றல் அழிவின்மை விதியை மீறுகிறது. இருந்தும் மொத்தத்தில் இப் பந்தாட்டம் அழிவின்மை விதிக்குட்பட்டதே.

அறிவியலார், மிகச் சிறு துகள்கள் உலகத்தில், ஆற்றல் அழிவின்மை விதி சராசரியில்தான் பொருந்துமென்று கூறி இச் சிக்கலைச் சமாளிக்கப் பார்த்தனர். முதுபழங் கொள்கைப்படி மேற் கூறிய பந்தாட்டம், ஒரு புதிராகவே இருந்தது.

துகள்களின் குவான்டம் தன்மைகளை விளக்கும்பொழுது இப் புதிர் தெளிவாகிறது. முதுபழங் கொள்கைகளுக்கு முரண்பாடானவைகளுக்கு மாயச் செயல்களென (virtual process) இயற் பியலார் பெயரிட்டனர்.

ஒரு துகள் வேறு துகளாகவோ ஓர் அமைப்பிலுள்ள துகள்கள் வேறு அமைப்பிற்கோ, பல வழிகளில் மாறலாம். இம் மாறுதல் களின் இடைநிலைகளையும் பாதையையும், தற்போது கணக்கிட முடிந்தவரை விளக்கலாம். மாயச் செயல்கள், நடப்பதைப் புரிந்து கொள்ள உதவும், கொள்கையாக ஏற்றுக்கொள்ளலாம்.

ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறில் நடைபெறும் மின்அணு பரிமாற்றம் போல, புரோட்டான் நியூட்ரான்களுக்கிடையே, ஒரு மெசான் பரிமாற்றமேற்படுகிறதா என்ற வினு எழுகிறது. மின்அணு ஒரு மாற்றமடையாமலே ஹைட்ரஜன் அணுக்களிடையே இணைப்பை

ஏற்படுத்துகிறது. இது சிக்கலற்ற ஓர் அமைப்பாகும். ஓர் எதிர் பை-மெசான் (negative pi-meson) இவ்வாறு இரு புரோட்டான்களுக்கிடையே சுற்றிக்கொண்டிருக்கலாம் அல்லவா ?

இதில் திருப்தி அடையாத இயற்பியலார், அணுவினுள் ம்யூ-மெசானை உருவாக்கினர். மின்அணுவின் செயல்களை ம்யூ-மெசான் நன்கு செய்தது. உதாரணத்திற்கு, ஹைட்ரஜன் மெசோ (mesomolecule) என்றதொன்று உள்ளதாகச் சொல்லப் பட்டது. மூலக்கூற்றின் இரு அணுக்களை ம்யூ-மெசான் நன்கு இணைக்க வல்லது. இத் துகள் மின்அணுவைப் போல் 200 மடங்கு நிறையுள்ளது. அதனால், அதன் நிகழ்திற மேகம் (cloud of probability) அணுக் கருவைச் சுற்றி வெகு அருகிலேயே உள்ளது. மெசோ மூலக்கூறு மற்றதைவிட 200 மடங்கு சிறியதாக இருக்கும்.

இது பை-மெசானல்ல, ம்யூ-மெசானே., அது மட்டுமல்ல, இதனால் அணுக்களுக்கிடையே விளையும் விசைகள், அணுக் கரு விசைகளை விட குறைந்த வல்லமையுள்ள, மின் காந்த விசைகளே.

ஒரு பை-மெசான், ஓரணுவில் மின் அணு போல் இயங்காது. ஏனெனில், அணுக் கருவுக்கும் பை-மெசானுக்கும் இடையே நிகழும் குறுக்கீட்டுச் செயல், மிக வலிவானது. (strong interaction) புரோட்டானை நியூட்ரானாகவும், நியூட்ரானைப் புரோட்டானாகவும், பை-மெசான் மாற்றவல்லது.

மெசான் பரிமாற்றத்தின் உட்கருத்து

பை-மெசான், அணுக் கருத் துகள்களிடையே சுற்றுகிறது என எண்ணலாம். உண்மையில் இத் துகள்களுக்குள்ளேயே, பை-மெசான் சுற்றிக் கொண்டிருக்கிறது. துகள்கள், எப்பொழுதும் பை-மெசானை வெளிவிட்டும், பிடித்துக் கொண்டுமிருப்பதை மாயச் செயல் எனலாம்.

மாயச் செயல் இதுவரை நாமறியாததல்ல. மின் அழுத்தத்தை அல்லது அரணைத் துளைத்து, மிகச் சிறு துகள்கள் வெளியேறுவதைக் கண்டிருக்கிறோம். பழங் கொள்கைப்படி, துகள், தடையைத் தாண்டி குதித்ததெனக் கருதலாம். ஆனால், ஸ்ரோடிஞ்சர் தன் சமன்பாட்டில், ஒரு துகள், ஆற்றல் ஏதும் பெறுமல் தடையைக் கடந்து செல்லுதல் நிகழலாம் என்று காட்டினர். ஆற்றலழிவின்மைக் கொள்கைக்கு இது முரணானது. உண்மையில், ஒரு துகள் தன்னுள்ளிருந்தே தேவையான ஆற்றலைப் பெற்று, மின் அரணைக் கடந்து செல்லுகிறது. இப் புதிரை மிகச் சிறு துகள்களின், அலைப் பண்புகளினால் விளக்கலாம். இது எவ்வாறு என்பதைப் பார்க்கலாம்.

ஒரு துகளின் நிலைஆற்றல், இயக்க ஆற்றல் இரண்டையும் நிர்ணயிப்பதில் சிறிது ஐயப்பாடு (uncertainty) உண்டென்று ஹைசன்பர்க் கொள்கை கூறுகிறது. அரணைக் கடக்கையில் ஒரு துகளைப்பிடிக்க முயன்றால் அதன் ஆற்றல் நம் அளவுகளுக்கு உட்படுவதில்லை. அப்பொழுது துகளின் ஆற்றல், பழங்கொள்கைகளின்படி அரணைக் கடக்குமளவிற்குப் போதுமானதாகிறது.

இக் கூற்றின்படி ஆற்றலழிவின்மை விதி, சரிவரப் பின்பற்றப்படவில்லைதான். ஆனால், குவாண்டம் எந்திரவியல், இவ் விளக்கம் ஆற்றலழிவின்மை விதிக்கு முரண்பட்டதல்ல என்று காட்டுகிறது.

இம் மாதிரியே, அணுக்கருத்துகள்கள், பை-மெசான்களை விட்டுப் பிடிக்கின்றதெனவிளக்கலாம். ஆற்றல், நேரம் இவற்றிற்கு அமையும் ஹைசன்பர்க் விதியை இத் துகளின் தகுதி ஆற்றலுக்கும் பொருந்துவதாகக் கொள்ளலாம். துகள் பை-மெசானை விடுவதையும் பிடிப்பதையும், அதன் ஆற்றலுக்கும், நிறைக்கும் இடையே உள்ள தெளிவின்மை எனக் கூறலாம்.

இந்தத் தெளிவின்மையின் மதிப்பெண்,பை-மெசானின் தகுதி ஆற்றலுக்கும் குறைவாகத்தான் இருக்கமுடியும் அதாவது, $\Delta E = m_\pi c^2$ என்பது பை-மெசானின் அமைதி நிலை நிறைவாகும். இதைப் பயன்படுத்தி, ஆற்றலளவின் தெளிவின்மையின் காலவரை எவ்வளவு எனக் கணக்கிடலாம். அதாவது, நியூட்ரான் புரோட்டானுக்கிடையே பந்தாட்டம் எவ்வளவு காலத்தில் நிகழ்கிறதென்பதைக் கணக்கிடலாம்.

ஹைசன்பர்க் விதிப்படி

$$\Delta E \times \Delta t \sim h$$

$$\Delta t \sim \frac{h}{m_\pi c^2}$$

இவ் வாய்பாட்டில் உரிய மதிப்பெண்களை இட்டுக் கணித்தால் $\Delta t = 10^{-23}$ செகண்ட் எனத் தெளிவாகிறது. இது மிகக் குறுகிய நேரமாகும். பை-மெசான், ஒளி வேகத்திற்குக் குறைவான வேகத்தில் தான் இயங்க முடியும். ஒளி வேகத்திற்குச் சமமென்று வைத்துக் கணக்கிட்டால் 10^{-23} செகண்டில், 10^{-13} செ.மீ. தான், அத் துகள் செல்ல முடியும். அணுக் கரு விசைகளின் நெருக்கமும் 10^{-13} செ.மீ. தான். இப் பொருத்தம் சற்று வியப்பையே தருகிறது.

மின்னழுத்த அரணைக் கடக்கையில் எப்படி ஒரு மின் அணுவைப் பிடிக்க இயலாதோ, அவ்வாறே விதிக்குப் புறம்பான பை-மெசான் விடுபடுவதையும் கண்டுபிடிக்க முடியாது.

அத்தகைய மெசானைப் பற்றிய, நிலை, ஆற்றல்களை நிர்ணயிக்கும் கருவிகள் இயங்கத் தொடங்கினவென்று மனதால் நினைத்தவுடனே புரோட்டான் நியூட்ரான் இவற்றின் ஆற்றல்கள் அதிகரிக்கத் தொடங்குகின்றன. பரிமாற்றுப் பழங் கொள்கை முறையிலேயே ஏற்படும் அளவுக்கு ஆற்றல் அதிகரிக்கும். மிகச் சிறு துகள்களையொட்டிய மாயச் செயல்களின் அடிப்படையில், அலைப் பண்புகளுள்ளன. அணுக் கரு விசைகளின் நெடுக்கம், மிகக் குறைவு. அணுக் கருப் புலம் குவான்டங்களுக்கு நிறை உள்ளதால்.

பை-மெசான், அணுக்கருக்குள் மாற்றமுறு நிலையில் இருக்கிறது. வெளியே வந்ததும் 10^{-8} செகண்டில், நேர்மின் பை-மெசான், நேர் ம்யூ-மெசானாகவும், எதிர் பை-மெசான் எதிர் மின் ம்யூ-மெசானாகவும் மாறிவிடுகின்றன. இவ்வாறு சிதைவுறுகையில் ஒரு நியூட்ரினோவும் வெளியாகிறது. மின்னூட்டமற்ற, மூன்றும் வகைப் பை-மெசானும், கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது இத் துகள், மற்ற பை-மெசான்களை விட, பல மில்லியன் மடங்கு குறுகிய காலத்தில் சிதைவுற்று இரு (γ) காமா கதிர்களாகி விடுகிறது. இக் கதிர்களின் ஆற்றல், எலெக்ட்ரான் பாசிட்ரான் அழிவில் ஏற்படும் கதிர்களின் ஆற்றலைவிடப் பன்மடங்கு அதிகமாக உள்ளது.

ஃபோட்டான்களுக்கும் பை-மெசானுக்குமுள்ள முக்கிய வேறுபாடு இத் துகள்களின் நிலையற்ற பண்பே ஆகும். ஃபோட்டான்களின் ஆற்றல்கள் மாறுபாடடையலாம், ஆற்றலை முற்றுமிழந்து, துகள்களாக மாறலாம். ஆனால், அவை சிதைவுறுவதில்லை. ஃபோட்டான் சிதைவுற்று, குறைந்த ஆற்றலுள்ள ஃபோட்டான் துகள்களாவதை யாரும் கண்டதில்லை.

இயற்பியலார் தீட்டிய புலம் பருப்பொருள் இடையீட்டை விளக்கும் சித்திரம் பை-மெசானால் சீரழிந்துவிட்டது. இத் துகள், குவான்டம், துகள் இரண்டும் சேர்ந்த, பெரிய இருமுகச் சேர்க்கைப் பொருளாகவே உள்ளது.

இடையீட்டுச் செயல்களின் இரகசியம்

இதுவரை அறிவியலாருக்குத் தெரிந்த புலங்களில், மின் காந்தப் புலத்தைப்பற்றியே அதிக ஆய்வு செய்யப்பட்டிருக்கிறது. நிலையான அல்லது இயங்கும் மின்னோட்டத்தினால் மின்புலமேற்படுகிறது. ஆனால், இயங்கும் மின்னூட்டத்தினால்தான் காந்தப் புலம் ஏற்படுகிறது. இயங்கும் மின்னூட்டங்களுக்கிடையேதான் இடையீட்டுச் செயல்கள் ஏற்படுகின்றன. ஆதலால், செயல்கள் அனைத்திலும் மின் காந்தப் புலங்கள் பங்குபெறுகின்றன எனலாம்.

பள்ளியில் எதிர்வகை மின்னூட்டங்கள் ஈர்க்கப்படுகின்றன. ஓரேவகை மின்னூட்டங்கள் எதிர்த்துத் தள்ளப்படுகின்றன எனக் கற்றிருக்கிறோம். இதை விளக்க, நிலையான மின்னூட்டத்தைச் சுற்றி மின்புலமுள்ளது. இப் புலத்தில் வரும் வேறு மின்னூட்டங்கள் இழுக்கப்படுகின்றன அல்லது தள்ளப்படுகின்றன என்று விளக்கம் தரப்பட்டது.

ஒருவர் இறந்தார் என்பதை அவரிடமிருந்து ஏதோ உயிர்ப் பொருள் வெளியேறிவிட்டது என்று கூறுவது போலத்தானுள்ளது இவ் விளக்கம். பள்ளியில் விசை என்பதைப் புலமென்றார்களே ஒழிய, சரியான தெளிவான விளக்கம் தரப்படவில்லை. பழங் கருத்துக் கொள்கையிலும் புலமென்பதைப் புகுத்தினார்களே ஒழிய, அதற்குத் தெளிவான குறிப்பான உரை கொடுக்கப்படவில்லை. ஆனால், குவாண்டம் எந்திரவியலினால் பல முன்னேற்றங்களே ஏற்பட்டுள்ளன. அவை என்ன என்பதைப் பார்ப்போம்.

இயற்பிலார் அறிந்த இயற்கையில் மின்னூட்டமேந்தியுள்ள துகள்களிரண்டே, ஒன்று புரோட்டான், மற்றொன்று எலெக்ட்ரான், நேர்மின், எதிர்மின்னூட்டங்கள் கொண்டவை.

முதலில் எதிர் மின்னூட்டமுள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் பார்ப்போம். இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் ஒன்றையொன்று எப்படி எதிர்க்கின்றனவென்று பார்ப்போம். ஒன்று மற்றது எங்கு உள்ளது என்பதை உணரவேண்டும்.

ஐன்ஸ்டீன் விளக்கியபடி, ஒன்று, மற்றதைச் சுற்றி வளைந்து செல்லவேண்டும். இரு பொருள்கள் எவ்வளவு பெரிதானாலும் சிறியவையானாலும், இம்மாதிரி வளைந்துதான் செல்லவேண்டும். ஒரு விரிப்பால் நிற்குமொரு பந்தைச் சுற்றி மற்றொன்று செல்வது போல.

இவ் வளைவு (curvature) பொருள்களின் நிறையைச் சார்ந்தது. மின்னூட்டத்தைப் பொருத்ததல்ல. இதைச் சார்ந்த புலத்தை ஈர்ப்புப் புலம் (gravity) என்கிறோம்.

அடுத்த எண்ணம் எலெக்ட்ரான் எப்படி ஒரு வெற்றிடத்தின் சீரைக் கெடுக்கிறதென்பது பற்றியாகும். வெற்றிட எலெக்ட்ரான்கள், உண்மை எலெக்ட்ரான்களை எதிர்த்துத் தள்ளும். அவற்றால் எதிர்த்துத் தள்ளப்படும் வெற்றிட வழியாகத் துகள்களுக்கிடையே செயலேற்படுகிறதென்ற கருத்துப் பயனுள்ளதே. ஆனால், எலெக்ட்ரான் ஒரு தூண்டுதலுமின்றித் தன்னிச்சையாக ஃபோட்டான்களை வெளிவிடுகின்றன என்பதைக் கருத்தில் கொள்ளவேண்டும்.

அப்படி இருந்தால் எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் ஃபோட்டான் வெளியிடுவதால் மாறுதல் அடையவேண்டும். ஓர் அணுவில் எலெக்ட்ரான் ஃபோட்டானை வெளிப்படுத்தி உடனே திரும்பப் பெற்றுக்கொண்டால் என்னவாகும். அதனால், ஆற்றல் மாறாமல் இருக்கும். ஆனால், இத்தகையச் செயல் பழங்கொள்கைகளுக்கு முரண்பட்டதாகும். ஆனால், குவான்டம் எந்திரவியல்படி இத்தகையச் செயல்கள் நிகழ்வது தவறில்லை - தெளிவின்மைக் கொள்கைக்கு உட்பட்டால்.

ஓர் எலெக்ட்ரான் ஃபோட்டானை விட்டுப் பிடித்தலுக்கான நேரம், ஃபோட்டானின் ஆற்றலைப் பொருத்தது. ஆற்றல் மிகுதியானால் காலம் குறுகும்.

எலெக்ட்ரானிலிருந்து வெளிவரும் ஃபோட்டான் எவ்வளவு தொலைவு செயல்படும் முடிவற்ற தொலைவுவரை.

இத்தகைய ஃபோட்டான்கள், எந்த ஆற்றலுடனும் இருக்கலாம். இருந்தாலும், ஒரு ஃபோட்டானின், அலைநீளத்துக்குள் தான் அதன் விளைவுகள் ஏற்படும். நாம் காணும் ஒளிக்கதிர்களுக்கு இந் நெடுக்கம், ஒரு மைக்ரானுக்குக் குறைவு.

இத்தகைய ஃபோட்டான்கள் ஒன்றையொன்று நெருங்குகையில் மோதல்கள் ஏற்படும். அழிவின்மை விதிகளுக்குட்பட்ட விளைவுகளிவை. எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல், அதனின்று விடுபட்ட ஃபோட்டான் ஆற்றல் அளவு குறைந்திருக்கும். வெகு தொலைவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களுக்கிடையே, இடையீட்டுச் செயல்களில் ஆற்றல் குறைந்து காணப்படும்.

இச் செயல்களில் ஃபோட்டான், எலெக்ட்ரான் இவற்றின் மொத்த ஆற்றல் மாறாமலிருக்கும். இந்த இடையீட்டு விளைவுகளுக்கு ஆரம்பமோ, முடிவோ கிடையாது. எலெக்ட்ரான்களுக்கு இடையே எவ்வளவு தொலைவிலிருந்தாலும், ஒன்றையொன்று பாதித்துக் கொண்டுதானிருக்கும். இவ் விளக்கமும் திருப்தி தரக் கூடியதாயில்லை. ஃபோட்டான்கள் தனித்தியங்குபவை. திருப்தி அளிக்க, மற்றொரு மாயச் செயலையும் பயன்படுத்திப் பார்க்கலாம். ஏற்கெனவே, இத்தகையச் செயலைக் குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். ஓர் எலெக்ட்ரானிலிருந்து போதுமான ஆற்றலுடன் வெளியான ஒரு ஃபோட்டான், அதற்குரிய குறுகிய ஆயுள் நேரத்திற்குள் ஓர் எலெக்ட்ரான் பாசிட்ரான் இரட்டையாக மாறுமென்பதைப் பார்த்தோம்.

இவ் வகையில், ஒரே சமயத்தில் ஓர் எலெக்ட்ரான் இருந்த இடத்தில் இரு எலெக்ட்ரான்களும் ஒரு பாசிட்ரானும் உருவாகி

உள்ளன. சிறிது நேரத்தில் ஓர் எலெக்ட்ரான் பாசிட்ரானுடன் சேர்ந்து அழிந்து ஒரு ஃபோட்டான் விளையும். ஆனால், எந்த எலெக்ட்ரான் அழியுமென்றுக் கூறமுடியாது.

ஓர் எலெக்ட்ரானிலிருந்து பல துகள்கள் ஒரு பூச்செண்டு போல் பெருகுவதை நாம் காணமுடியுமா? இச் செயல் வெகுச் சிறு காலத்தில் நிகழ்வதால், நாம் காணமுடியாத ஒன்றாகும். இது 10^{-21} செகண்டில் முதல் எலெக்ட்ரானிலிருந்து 10^{-11} செ.மீ. தூரத்தில் ஏற்படுகிறது. ஒளி வேகத்தில் செல்லும் ஓர் எலெக்ட்ரானின் டி பிராலி அலைநீளமும் 10^{-11} செ.மீ தான்.

எவ்வளவு பொருத்தம் எலெக்ட்ரானின் அலைப் பண்புகளினுள்ளே இத்தகைய இடையீட்டுச் செயல்கள் அடங்கியுள்ளன. ஓர் எலெக்ட்ரான் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் அன்றி, சிறிது பரவலாகப் பூசியுள்ளதாக உருவகப்படுத்தினதின் காரணம், அது அடிக்கடி வெற்றிடத்தில் உட்புகுந்தும் வெளியேறிக் கொண்டும் இருப்பதால்தான்.

இயற்பியலார் இச் செயலை, எலெக்ட்ரானின் நடுக்கமென்பர். உண்மையிலேயே அதன் ஆற்றலையும், அதனின்று வெளிவரக் கூடிய ஃபோட்டானின் அலைநீளத்தைப் பொருத்தும் ஓர் எலெக்ட்ரான், ஒரு குறித்த எல்லைக்குள் ஊசலாடிக் கொண்டிருக்கும்.

மாயச் செயல்களின் இராச்சியம்

எனவே, ஓர் எலெக்ட்ரான் ஃபோட்டான்களை வெளிவிடுகிறது. போட்டான் எலெக்ட்ரான் பாசிட்ரான் இரட்டையாக மாறுகின்றன. இவ் விரட்டைகள் சேர்ந்து ஃபோட்டான்கள் உண்டாகும். இந்த ஃபோட்டான்கள் எலெக்ட்ரானால் உட்கவரப் படுகின்றன.

இதுவரை விவரிக்கப்பட்ட மாயச் செயல்கள் ஒரு செகண்டில் பல கோடி முறை நடக்கின்றன. ஓர் எலெக்ட்ரான் விடுத்த ஃபோட்டானை வேறு ஓர் எலெக்ட்ரான் பிடித்துக்கொள்ளலாம். ஆனால், எந்த எலெக்ட்ரான் அதைப்பிடித்துக் கொள்ளுமெனச் சொல்ல முடியாது.

இந்தப் பரிமாற்றம் முற்றிலும் உண்மையே. எலெக்ட்ரான்கள் ஒன்றையொன்று வெகுதூரம் விலகியிருக்கவே முயல்கின்றன. ஆனால், இடைவெளி அதிகமாய் இருந்தால் ஃபோட்டான்களின் செயல் வலிவு குறைந்திருக்கும் இதையேதான் கூலோம்பின் விதி கூறுகிறது.

இரு எலெக்ட்ரான்களுக்கிடையே இடையீட்டுச் செயல் ஏற்படுகிறது என்று கூறினோம். ஆனால், இச் செயலில் எங்குமுள்ள எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் பங்கு எடுக்கின்றன. எல்லையற்ற மின்காந்தப் புலம், முடிவுற்ற அண்ட முழுவதும் பரவியுள்ளது எனலாம்.

எதிர்மின்னூட்டமுள்ள எலெக்ட்ரான், பாசிட்ரான், புரோட்டான், எலெக்ட்ரான் போன்ற துகள்களுக்கிடையேயும் மாயச் செயல்களே நிகழ்கின்றன. ஆனால், ஃபோட்டான் பரிமாற்றத்தினால், இத் துகள்கள் ஈர்க்கப்படுகின்றன, தள்ளப் படுவதில்லை. இயற்கை, இரு பான்மையது. எதிர்த்தன்மை உள்ள வைகளிடையே ஒற்றுமையும் ஒரே தன்மையுள்ள அணுக்களுக்கு இடையே எதிர்ப்பையும் காண்கிறோம். எதிர்த் துகள்கள் ஒன்றை ஒன்று அழித்துக்கொண்டு இடையீட்டுச் செயல் விளைவிக்கும் ஃபோட்டான்களாகின்றன.

மாயம் உண்மையாகிறது

பொருள்களுக்குப் பெயர் சூட்டுவதில் இயற்பியலார் சில சமயங்களில் வெற்றி பெறுவதில்லை. உதாரணத்திற்கு மாய வெற்றிடமென்பது, உண்மையானதாகவுமிருக்கலாம்.

அணுவின் நிறமாலை விளக்கத்தில் கண்ட எலெக்ட்ரான் நிலை மாற்றங்களை நினைத்துப் பாருங்கள். எலெக்ட்ரான்களின் நிகழ்திறன் மேகங்கள், ஒன்றின் மேலொன்று சிறிதேனும் படிந் திருந்தால்தான், இம் மாற்றங்கள் ஏற்படுமென்றோம்.

ஹைட்ரஜன் அணுவில், முழுவதும் சேர்ந்திணைந்த இரு நிகழ் திறன் மேகங்களுள்ளன. இவை இரண்டும், அணு அமைப்பின் இரண்டாவது ஒட்டைச் சார்ந்தவை. லிதியம் அணுவில்தான் அது நிரப்பப்படுகிறது. மிகக் குறைந்த நிலையான ஆற்றல் முதல் ஒட்டிலுள்ள நிகழ்திறன் மேகத்தில்தான், ஹைட்ரஜனில் எலெக்ட்ரான் இருக்கிறது.

அணுக்கட்டடத்திலுள்ள இத்தகைய மாடிகளுக்கேற்ற நிகழ் திறன்கள் தனிப்பட்டவை. ஒன்றையொன்று தொடுவதில்லை. இவற்றை இணைக்கும் இடைத்தளமொன்று லித்தியம் அணுவி லுள்ளது. அதனால், அவ் அணுவில் இரு மாடிகளுக்கிடையில் எலெக்ட்ரான் மாறமுடியும்.

ஹைட்ரஜனில் ஓர் எலெக்ட்ரான் மேல்மாடிக்கு உயர்த்தப் பட்டால் இடைத்தளம் இல்லாததால் கீழ்மாடிக்கு இறங்கவே முடியாது. இது நிகழ்ந்தால் விதிகளுக்கும் புறம்பானதென்றே கருதலாம்.

ஆனால், பதினைந்தாண்டுகளுக்கு முன் இத்தகைய மாற்ற மேற்படலாமென்றுக் கணக்கிட்டனர். ஆழ்ந்த கற்பனையில், இயற்பியலார் தேர்ந்தவர்கள். மாயச் செயலில், ஓர் உண்மை எலெக்ட்ரான், 'பிறவாத' வெற்றிட எலெக்ட்ரானைத் தள்ள முடியுமென்பதை நினைவிற்குக் கொண்டுவந்து நோக்குவோம். ஓர் எலெக்ட்ரான், அதன் நிழலுடன் மோதுவதுபோலிருந்தது அந் நிகழ்ச்சி.

எலெக்ட்ரானுக்கும் வெற்றிடத்திற்குமிடையே நிகழும் இடையீட்டுச் செயலில், எலெக்ட்ரானின் நடுக்கம், வெற்றிடத்திற்குச் சிறிது ஆற்றலைத் தருகிறது. இது மிகக் குறைவாயிருந்தாலும், ஹைட்ரஜனின் இரண்டாவது மாடியின் இரு ஆற்றல் நிலைகளைப் பிரித்து, எலெக்ட்ரானை, நடுத்தளத்திற்குக்கொணர்ந்து கீழ்மாடிக்குத் தள்ள முடிகிறது. எலெக்ட்ரான் பெற்ற இந்த வெற்றிட ஆற்றலைப் ப்ளாங்க் வாய்பாட்டின்படிக் கணக்கிட்டால் ரேடியோ அதிர்வெண்ணைச் சார்ந்ததாயிருந்தது.

அதனால்தான் இச் செயல் வழக்கமான அணு நிறமாலைச் செயல்முறைகளில் காணப்படவில்லை. இரண்டாவது உலகப் போரில் இயக்கப்பட்ட, உயர் அதிர்வெண் ரேடியோ அலையியற்றிகளால் இதைக் காணமுடிந்தது.

இத்தகைய அலை வீச்சிற்குட்படுத்தப்பட்ட ஹைட்ரஜனை ஆய்ந்துபார்க்கையில் மேற்குறிப்பிட்ட வெற்றிட அலையெண்ணுக்கேற்ப, உட்கவர்ச்சி (absorption) காணப்பட்டது.

சிறிது காலத்தில் இரண்டாவதுவகை, வெற்றிட விளைவு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. நாம் முன்பே, எலெக்ட்ரானின் இருவகைக் காந்தப் புலங்களைக் கண்டிருக்கிறோம். ஒன்று அணுக்கருவை, அது சுற்றி வருவதாலும், மற்றொன்று, அது தன்னைத்தானே சுற்றிகொண்டிருப்பதாலும் ஏற்படுபவை. இவ் விரு காந்த விளைவுகளும் ஒரு காந்தப் புலத்தில் ஒன்றாகச்சேர்ந்து ஒரே காந்தம் போல் செயல்படுகின்றன. துல்லியமாகக் கணக்கிட்டதில் தனித் தனியேகாட்டும் காந்தங்களின் கூட்டுவிசையைவிட, காந்தப் புலத்தில் ஒன்றாகச் செயல்படும் காந்தத்தின் விசை சற்றே கூடுதலாக இருந்தது. இச் சிறு கூடுதல், எலெக்ட்ரானுக்கும் வெற்றிடத்திற்குமிடையே ஏற்படும் இடையீட்டுச் செயலால் தானிருக்க வேண்டும்.

இச் செயலையும் முன்னே விவரித்த வகையில்தான் விளக்க முடியும். எலெக்ட்ரான் இயங்குகையில், வெற்றிட எலெக்ட்ரான்களைத் தள்ளுகிறது. வெற்றிட எலெக்ட்ரான்களின் அசைவு, மாய மின்னோட்டத்தை விளைவித்துச் சிறிது காந்தக்கூடுதலை ஏற்படுத்துகிறது.

குவான்டம் எந்திரவியல், மாயச் செயல்களினுதவியால் பல வியப்பான நிகழ்ச்சிகளுக்கான விளக்கம் தருவதோடு கணக்கிட்டும் காட்டிற்று. இக் கணக்கீடுகள் செயல்முறையில்கண்ட அளவீடுகளை மிகவும் ஒத்திருந்தன. இயற்பியலாரின் கற்பனையில் உருவான, மாயச் செயல்கள், நம் மதிப்பிற்குரியவைகளாகும்.

புதுத் துகள்களைத் தேடி

மிகச் சிறு துகள்களும், அவற்றிற்கும், புலங்களுக்குமிடையே யுள்ள அற்புதச்செயல்களும், இயற்பியலாரை மேலும் புதுத் துகள்களைத் தேட ஊக்குவித்தது. ஒவ்வொரு புதுத்துகளின் கண்டு பிடிப்பும் புதுப்பண்புகளை வெளிப்படுத்தி அறிவுப் பாதையில் முன்னேற்றத்தைத் தந்தது.

வெகு நாட்களாக, காஸ்மிக் கதிர் எனப்படும் விண் வெளியி லிருந்து வரும் கதிர்களிலேதான் புதுத்துகள்கள் கிடைத்தன. தற்போது துல்லியமான கருவிகளைக்கொண்ட, ஆனால் மிகப்பெரிய அதிவன்மையுள்ள சாதனங்களைப் பயன்படுத்தி, மலையுச்சிக்கும், கடல்களுக்கும், வானவெளியிலும்சென்று துகள்களை ஆய்வு செய் கின்றனர். 1950–60-ல் பல்லாயிர மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் திறனுள்ளத் துகள் முடுக்கிகள் கட்டப்பட்டன.

இம் முயற்சிகளின் பலன் முப்பத்திமூன்று புதுத் துகள்களின் கண்டுபிடிப்பு ஆகும். ஒத்தத் திரவு (resonance particles) துகள்க ளென்பவை தவிர, இவற்றையும் சேர்த்தால் துகள் பட்டியல் நூறு மடங்காகும்.

முதலில் பிடிபட்டத் துகள்கள் பை-மெசான்களெனப்படுபவை. பிறகு புரோட்டான், நியூட்ரானைவிட நிறையுள்ள ஹைபெரான் என்ற துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. விண்வெளிக் கதிர் களில் '*K*' மெசான் என்ற மிகப் பயன் அளிக்கும் துகள்கள் கிடைத்தன. ராட்சசத்துகள் முடுக்கிகளில், புரோட்டான்களை ஒளிவேகத்திற்குச் சற்றே குறைந்த வேகத்தில் செலுத்தி 'டிராக்' கொள்கையை நிலைநாட்டும் எதிர்ப் புரோட்டான், எதிர் நியூட் ரானென்ற இரு துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

இதுவரை கண்ட துகள்களைச் சற்றுக் கூர்ந்து நோக்குவோம். முதலில் நமக்குத் தென்படுவது, துகள்களின் நிறைகள், சிறிய நிறையிலிருந்து பெருமளவுவரை பரவியிருப்பது. நிறையற்ற நியூட்ரினோவிலிருந்து நான்காயிரம் எலெக்ட்ரான் நிறைக்கு மேலுள்ள ஒத்திரவு டெல்டா ஹைபெரான் வரையிலுள்ள நிறை கள் ஓர் அடுக்காகவோ, ஒழுங்காகவோ பரவியில்லை. ஏறத்தாழ ஒரே நிறையுள்ள இரண்டு, மூன்று அல்லது நான்கு துகள்கள்

கொண்ட சிறு கூட்டங்களாகவே உள்ளன. ஆனால், அவற்றின் மின்னூட்டங்களும் தற்சுழற்சி எண்களும் அவ்வாறு வேறுபாடுடனில்லை. மின்னூட்டம் 1, 0, −1 (−1 எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்) ஆகவும் தற்சுழற்சி 0, 1/2, 1 ஆகவுமே உள்ளன.

இத் துகள்கள் நிரந்தரத் தன்மையுடையவையல்ல. அவற்றின் சராசரி வாழ்வு நேரம் 10^{-24} செகண்டிலிருந்து சில ஆயிரம் செகண்ட்வரை. குறிப்பாக மெசான்சகள், ஹைபெரான்களின் வாழ்வு நேரங்கள் 10^{-8} செகண்டிலிருந்து 10^{-12} செகண்ட் வரை தான்.

அவற்றின் வாழ்வு நேரங்களை, இவ் வுலகிலே இருக்கும் நேரங்களுடன் ஒப்பிட்டுக் குழப்பிக்கொள்ளக்கூடாது. எடுத்துக்காட்டாக ஒரு பாசிட்ரான், வேறு துகள்களாக மாறுவதில்லையாதலால் நிலையான துகள் எனலாம். ஆனால், நாமறிந்த உலகில் வெகுநேரம் இருப்பதில்லை. ஓர் எலெக்ட்ரானைக் கண்டதும் அதனுடன் சேர்ந்து அழிகிறது. பை-மெசான் என்ற துகள், தனித்திருக்கையில் நிலையற்றத் துகளாகவும் ஆனால், அணுக்கருவினுள் அழிவுராமலிருப்பதையும் நாம் சிந்தித்துப் பார்க்கவேண்டும்.

கீழேயுள்ள அட்டவணையில் கடைசிப் பத்தியைப் பார்ப்போம். நிலையற்ற துகள்கள் கடைசியில் என்னவாகின்றன; மெசான்களும் நியூட்ரான்களும் எலெக்ட்ரான்கள், நியூட்ரினோக்கள், ஆகின்றன. ஹைபெரான்கள், நியூக்ளியான்கள் பை-மெசான்களாகின்றன.

தேடிக்கிடைத்தவைகளை வகைப்படுத்துதல்

துகள்களின் எண்ணிக்கை முடிந்தது. அவற்றின் வாழ்வுநிலை என்ன என்பதைப் பார்ப்போம்.

ஏன் இத்தனைத் துகள்கள்? மிகக் கனமான துகளென்ன; டெல்டா ஹைபெரானா? ஏன் துகள்கள், நிறை ஏறத்தாழ ஒன்றாக உள்ள சிறு கூட்டங்களாகத் தென்படுகின்றன. மின்னூட்டத்திற்கும் தற்சுழற்சி எண்ணுக்கும்மட்டும் ஏன் மூன்றே மதிப்புகள்? ஏன் பெரும்பான்மையானவை நிலையற்றதாக உள்ளன? ஒரு சில மட்டும் ஏன் நிலையானதாக இருக்கின்றன? பல வழிகளிருக்கையில் துகள்கள் அழிவடைகையில் ஏன் ஒன்றிரண்டு பாதையிலேயே அழிகின்றன?

குவான்டம் இயல் ஒரு சில வினாக்களுக்கே பதலளித்திருக்கின்றது. அப் பதில்களும் எப்படியோ என்று விளக்கம் தருகின்றனவேயன்றி, ஏன் இவ்வாறு என்பதற்கல்ல.

ஏறத்தாழ ஒரே நிறையுள்ள ஒரு துகள் கூட்டத்திற்கும் மற்றக் கூட்டத்திற்கும் இடைவெளி மிகப் பெரியதாகவுள்ளது. ஒரு சிறு கூட்டத்தில் சற்றே வேறுபட்டத் துகள்களை ஒரே துகளின் வேறு உருவங்கள் எனக் கொள்ளலாம்.

எடுத்துக்காட்டாக, பை-மெசான்களின் மூன்று வகைகளில், மின்னூட்டமுள்ளவை சற்றுக் கூடுதல் நிறையுடன் உள்ளது. மின்னூட்டத்தினால் நிறை சிறிது கூடுகிறதா? பை-மெசான்கள், அணுக்கருப்புலத்தைச்சார்ந்தக் குவான்டங்களாகும். மற்ற மின் காந்தப் புலத்தைவிட அணுக்கருப் புலங்கள் வலிமை மிக்கவை. பை-மெசான், மின்னூட்ட, மின்காந்தப் புலத்தால் பெரிதாகக் கணக்கிடத் தக்க அளவு நிறை ஏற்றமடையாது. மின்னூட்ட முள்ள பை-மெசானின் நிறை மின்னூட்டமற்ற பை-மெசானைவிட அதிகமாயிருப்பது, அணுக்கரு விளைவேயாகுமெனலாம்.

இக் காரணத்தைக்கொண்டே, இலேசான துகள்கள் மும்மூன்றாக (+, 0, –) ஏற்படுவதில்லையெனக் கூறலாம். மின் காந்தப் புலம் ஃபோட்டான்களுக்கு நிலை நிறையில்லை. ஆனால், அணுக்கருப் புலன் குவான்டங்களுக்கு நிலைநிறை உண்டு (non-zero rest mass), எலெக்ட்ரான் பாசிட்ரான், ம்யூ-மெசான் இவை யாவும் அணுக்கருவில் ஏற்படுபவை எனலாம். இவற்றை, நேர் எதிர் மின்னூட்டங்கள்கொண்ட இரட்டைகளாகவே உள்ளன. இவ் வினங்களில், மின்னூட்டமற்ற துகள்களில்லை.

ஆனால், கே-மெசானுக்கு இவ் விளக்கம் பொருந்தவில்லை. மின்னூட்டமற்ற கே-மெசான் மின்னூட்டமேந்திய கே-மெசானை விட அதிக நிறைகொண்டதாக உள்ளது. அணுக்கருப் புலத்தி லிருந்து, மின் காந்தப் புலம் நீக்கப்பட்டவாறுள்ளது.

துகள் கூட்டங்களின் ஒழுங்கான பண்புகளை வரையறுக்க இயற்பியலார் ஐசோடோப் சுழற்சி (isotopic spin) என்பதைப் புகுத்தினர். நாம் முன்பு கண்ட எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி யையும் இச் சுழற்சியையும் எவ் வகையிலும் ஒப்பிட முடியாது. நிறமாலையில், வரிகள் காந்தப் புலத்தால் மூன்றாகப் பிரிவதை, எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியால் ஆற்றல் மாறுதலடைவதைக் கொண்டு விளக்கப்பட்டதைப் பார்த்தோம்.

அதே மாதிரி ஒரே நிறைவுள்ள துகள்கள் மின்காந்தப் புலனில் சிறிது மாற்றமடைந்து ஒரு தொகுப்பாகத் தோற்றம் அளிக்கிறது என்று விளக்கம் கூறப்பட்டது.

ஐசோடோப் சுழற்சியும் முன்புகண்ட தற்சுழற்சியின் விதிகளுக்குட்பட்டதே என்று தெரிந்தது. இச் சுழற்சியெண்

வகை	அணுவின் பெயர்	குறியீடு		பொருண்மை	தற்சுழற்சி	மின்னூட்டம்		பேரியான் மின்னூட்டம்		லெப்டான் மின்னூட்டம்		ஐசோடோபிக் தற்சுழற்சி	அதிசயத் தன்மை		வாழ்வு நேரம் செகண்டில்	சிதைவுத் தன்மை
		துகள்	எதிர்த்துகள்			துகள்	எதிர்த் துகள்	துகள்	எதிர்த் துகள்	துகள்	எதிர்த் துகள்		துகள்	எதிர்த் துகள்		
	ஃபோட்டான்	γ	γ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	நிலைப்பு	
லெப்டான்கள்	நியூட்ரினோ 1	ν_e	ν	0	1/2	0	0	0	0	1	−1				நிலைப்பு	
	நியூட்ரினோ 2	ν_μ	ν_μ	0	1/2	0	0	0	0	1	−1				நிலைப்பு	
	எலெக்ட்ரான்	e^-	e^+	1	1/2	−1	+1	0	0	1	−1				நிலைப்பு	
	மியூன்	μ^-	μ^+	206·7	1/2	−1	+1	0	0	1	−1				$2{\cdot}2{\cdot}10^{-6}$	$e^- + \nu_\mu + \nu_e$
மெசான்கள்	பை-மெசான்கள்	π^0	π^0	264·2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	$2{\cdot}2{\cdot}10^{-16}$	$2\gamma; \gamma + e^+ + e^-$
		π^+	π^-	273·2	0	+1	−1	0	0	0	0		0	0	$2{\cdot}6{\cdot}10^{-8}$	$\mu^+ + \nu_\mu$
	கே-மெசான்கள்	K^+	K^-	966·5	0	+1	−1	0	0	0	0	1/2	1	−1	$1{\cdot}2{\cdot}10^{-8}$	$e^+ + \nu_e + \pi^0$; $\mu^+ + \nu_\mu$; $\pi^+ + \pi^0$ 3π; $\mu^+ + \nu_\mu^+ + \pi^0$
		K^0	$\bar{K}^0$	974	0	0	0	0	0	0	0	1/2	1	-1	K_1^0: $1{\cdot}0{\cdot}10^{-10}$; K_2^0: $6{\cdot}10^{-8}$	$\pi^+ + \pi^-; 2\pi^0$ $\pi^0 + \pi^+ + \pi^-$ $\pi^+ + e^- + \nu_e$
	எட்டா மெசான்	η^0	η^0	1080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10^{-23}	$\pi^+ + \pi^- + \pi^0$
	ரிசோனன்ஸ் மெசான்கள்			1470	1	1; 0	−1; 0	0	0	0	0	1	0	0	$\sim 10^{-23}$	
				1530	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				1730	1	1; 0	−1; 0	0	0	0	0	1/2	1	-1		
				2000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				2390	?	1; 0	−1; 0	0	0	0	0	1	0	0		
				2450	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

பேரியான்கள்	புரோட்டான்	P	$\overline{P}$	1836·1	1/2	+1	−1	1	−1	0	0	1/2	0	0	நிலைப்பு	$P+e^-+\bar{\nu}_e$
	நியூட்ரான்	n	$\overline{n}$	1838·5	1/2	0	0	1	−1	0	0		0	0	1013	
	லாம்ப்டா ஹைபெரான்கள்	Λ^0	$\overline{\Lambda}^0$	2182	1/2	0	0	1	−1	0	0	0	−1	1	$2{\cdot}5{\cdot}10^{-10}$	$P+\pi^-; n+\pi^0$
	சிக்மா ஹைபெரான்கள்	Σ^+	$\overline{\Sigma}^+$	2327	1/2	1	−1	1	−1	0	0	1	−1	1	$0{\cdot}8{\cdot}10^{-10}$	$P+\pi^0; n+\pi^+$
		Σ^0	$\overline{\Sigma}^0$	2331	1/2	0	0	1	−1	0	0	1	−1	1	10^{-11}	$\Lambda^0+\gamma$
		Σ^-	$\overline{\Sigma}^-$	2340	1/2	−1	1	1	−1	0	0	1	−1	1	$1{\cdot}6{\cdot}10^{-10}$	$n+\pi^-$
	Xi-ஹைபெரான்கள்	Ξ^0	$\overline{\Xi}^0$	2565	1/2	0	0	1	−1	0	0	1/2	−2	2	$1{\cdot}5{\cdot}10^{-10}$	$\Lambda^0+\pi^0$
		Ξ^-	$\overline{\Xi}^-$	2580	1/2	−1	1	1	−1	0	0	1/2	−2	2	$1{\cdot}2{\cdot}10^{-10}$	$\Lambda^0+\pi^-$
	ஒமேகா ஹைபெரான்	Ω^-	Ω^-	3296	3/2	−1	−1	1	−1	1	1	0	0	0	$\sim 10^{-10}$	$\Xi^0+\pi^-$
	ரிசோனன்ஸ் ஹைபெரான்கள்	N_1	$\overline{N}_1$	2980	3/2	0	0	1	−1	0	0	1/2	0	0		$P+\pi^-; n+\pi^0$
		N_2	$\overline{N}_2$	3300	5/2	0	0	1	−1	0	0	1/2	0	0		$\pi^0 n; K^0+\Lambda^0$
		N_3	$\overline{N}_3$	4290	?	0	0	1	−1	0	0	1/2	0	0		$P+\pi^-; n+\pi^0$
		Δ_1	$\overline{\Delta}_1$	2420	3/2	2; 1; 0; −1	−2; −1; 0; 1	1	−1	0	0	3/2	0	0		$P+\pi; n+\pi^0$
		Δ_2	$\overline{\Delta}_2$	3230	5/2	2; 1; 0; −1	−2; −1; 0; 1	1	−1	0	0	3/2	0	0	$\sim 10^{-28}$	$P+\pi^-; n+\pi^0$
		Δ_3	$\overline{\Delta}_3$	3760	7/2	2; 1; 0; −1	−2; −1; 0; 1	1	−1	0	0	3/2	0	0		$K+\Sigma; P+\pi^-$
		Δ_4	$\overline{\Delta}_4$	4620	?	2; 1; 0; −1	−2; −1; 0; 1	1	−1	0	0	3/2	0	0		$P+\pi^-; n+\pi^0$
		Λ_1	$\overline{\Lambda}_1$	2750	?	0	0	1	−1	0	0	0	−1	1		$\Sigma+\pi$
		Λ_2	Λ_2	2990	3/2	0	0	1	−1	0	0	0	−1	1		$\Sigma+\pi$
		Λ_3	Λ_3	3560	5/2	0	0	1	−1	0	0	0	−1	1		K^-+P
		Ξ_1	Ξ_1	3000	3/2	0; −1	0; +1	1	−1	0	0	1/2	−2	2		$\Xi+\pi$
		Σ_1	$\overline{\Sigma}_1$	2720	3/2	1; 0; −1	−1; 0; 1	1	−1	0	0	1	−1	−1		$\Lambda^0+\pi$
		Σ_2	Σ_2	3250	3/2	1; 0; −1	1:0; 1	1	−1	0	0	1	−1	−1		$\Lambda^0+2\pi; \Sigma+2\pi$

சுழியானுல், துகள் ஒன்ருகவே இருக்கும். இவ் வெண் $\frac{1}{2}$ ஆனுல், சில மெசான்கள் (கே-மெசான்) இரட்டையாகின்றன. இவ் வெண் ஒன்ருனுல் துகள்கள் மூன்ருகப் பிரிகின்றன.

எதிர்த் துகள்கள் செயல்படத் தொடங்குகின்றன

1955 வரை அணுக் கருவில் நியூக்ளியான்களென்ற பொதுப் பெயருடன் புரோட்டான், நியூட்ரான் என்ற இரண்டே துகள் களுள்ளதாகக் கருதினர். எதிர் புரோட்டான்-எதிர் மின்னூட்ட முள்ளது கண்டுபிடிக்கப்பட்டதும் இத் துகள்களின் மர்மம் வெளிப் பட்டது.

பை-மெசான் போலவே நியூக்ளியான்களும் மூன்று வகை கொண்ட மூன்று துகள்தான் என்பது தெளிவாயிற்று.

ஆனுல், மின்னூட்டமற்ற நியூட்ரான், மற்றவைகளைவிட கூடுதல் நிறையுடன் இருந்து குழப்பத்தையுண்டாக்கியது. அணுக் கருப் புலத்திலிருந்து மின்காந்தப் புலம் நீக்கப்பட்டு மின்னூட்ட முள்ளத் துகள்களாக ஏற்படுவது போன்றிருந்தது. இந் நிலையில் குறிப்பாகத் தெரிந்துகொள்ளவேண்டியதொன்று புரோட்டானும், நியூட்ரானும் இரு முகங்கொண்ட ஒரே துகள்தான் என்பது அணுக் கருவினுள் ஒன்று மற்றொன்ருக மாறுவது, இயற்பியலார் முன்பே எதிர்பார்த்ததொன்று, இன்னும் ஓராண்டிற்குள் எதிர் நியூட்ரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. தொகுப்பின் நான்காவது துகளாக மூன்று துகள் கொண்ட அமைப்பில் இதைச் சேர்க்க முடியவில்லை. ஆனுல், இந் நான்கு துகள்களையும் இரு இரட்டை களாகக் கருதலாமென்றுக் கூறினர், புரோட்டான், நியூட்ரான் மற்றும் அவற்றின் எதிர்த் துகள்களுமாக.

இத்தகைய இரட்டைகள் கே-மெசானிலும் காணப்பட்டது. இச் சிறு துகள்களின் கூட்டங்களுக்கான அடிப்படை விதி ஏதாவதுண்டா? துகள்களின் கணக்கெடுப்பு முடிந்து, வகைப் படுத்துதலும் முடிந்தது. ஆனுல், முடிவாக எத் தன்மைகளைப் பற்றியும் ஒழுங்குபடுத்திக் கூற இயலவில்லை.

ஒரு துகள், அதன் எதிர்த் துகள், என்பவைகளின் வேறுபாடு என்ன? டிராக் கொள்கையின்படி துகளின் மின்னூட்டத்தில் குறியே அவ் வேறுபாடாகும். எலெக்ட்ரான், பாசிட்ரான், புரோட்டான், எதிர் புரோட்டான் ம்யூ-மெசான்களைப் பொருத்த வரை இவ் வேறுபாட்டைக் காண்கிருேம். ஆனுல், மின்னூட்ட மற்ற நியூட்ரான், எதிர் நியூட்ரான் இரண்டிற்கும் இது பொருந்த வில்லையே. காந்தத் திருப்புத் திறனின் திசையால் இவ் வேறுபாடு வெளிப்படுகிறதா? அப்படியிருந்தால் இதையும் ஓர் எதிர்ப்

பண்பெனலாம். எலெக்ட்ரான்கள் தற்சுழற்சியின் திசைகளால் ஆற்றல் மாற்றங்களுடன் இரட்டைகளாக இருப்பதை முன்பே பார்த்திருக்கிறோம். இரண்டும் எலெக்ட்ரான்களாகவேயிருக்கின்றன. பாசிட்ராஞக மாறுவதில்லை. அணுக் கருவில் நியூட்ரான்களும் ஆற்றல் வேறுபாடுடன் இரட்டைகளாக உள்ளன, எதிர் நியூட்ரான் ஏற்படுவதில்லை. இரட்டை எலெக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சிகள் எதிர்த் திசையிலுள்ளனவென்றாலே எலெக்ட்ரான்கள் எதிர்த் திசையில் செல்பவை என்றுதான் பொருள்படும். நிகழ் திறன் மேகக் (cloud of probability) கருத்துப்படி இம் மாதிரி உருவகப்படுத்த முடியாது. ஒரு தனித்தியங்கும் அணுவில் ஆற்றல் மாற்றங்களைக் காண முடியாது. ஆனல், எலெக்ட்ரானின் இயக்கத்திற்கும் அதன் தற்சுழற்சிக்கும் தொடர்பிருக்க வேண்டும். வலது புறம் செல்லும் எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி ஒரு திசையிலிருந்தால் இடது புறம் செல்லும் எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி அத் திசைக்கு எதிரில்தான் இருக்கமுடியும். எலெக்ட்ரானின் திசை வேகம், ஒளி வேகத்தை நெருங்குகையில் அதன் தற்சுழற்சி வேகத் திசையை நெருங்குகிறதெனலாம். அதிவேகமாகச் செல்லும் பாசிட்ரானின் தற்சுழற்சி திசை வேகத்தின் எதிர் திசையிலிருக்க வேண்டும். இம் முறையில்தான் நியூட்ரான் எதிர் நியூட்ரான் இவற்றின் காந்த திருப்புத் திறனின் திசைகளையும் விளக்கமுடியும். இவ் வேறுபாடுகள், முழு திருப்தி அளிக்கவில்லை எனினும், துகள் எதிர்த் துகள் மோதுகையில் புலக் குவான்டங்களாக மாறுதல் அடையச் செய்கிறதை விளக்குகின்றன.

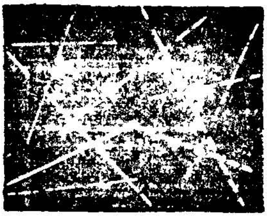
துகள்கள் சிதறுகின்றன

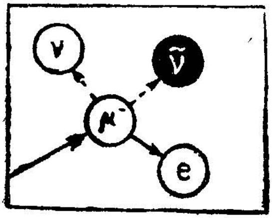
துகள்கள் எப்படித் தோன்றி மறைகின்றன. புகைப்படத் தகடுகளில்தான் இந் நிகழ்ச்சிகள் முதலில் காணப்பட்டன.

ஒரு தகட்டின் மூலையில் ஒரு ம்யூ-மெசானின் சுவடைப் பார்க்கிறோம். அக் கோடு சிறிது தூரத்திலேயே ஒடிந்து, வேறு புள்ளிகளாலான வரியாக மாறிவிட்டது. இப் பகுதி ஓர் எலெக்ட்ரானைச் சேர்ந்தது. சுவடு மாறுதலடைந்த இடத்திலிருந்து, ஒரு நியூட்ரிஞேவும் எதிர் நியூட்ரிஞேவும் தோன்றி எலெக்ட்ரான் ஏற்காத ஆற்றலையும் உந்தத்தையும் ஏந்திச் சென்றிருக்க வேண்டும்.

பை-மெசான்கள் அழிவுருகையில் பொதுவாக, நேராக எலெக்ட்ரான்களாக மாறுவதில்லை. முதலில் அவை ம்யூ-மெசான்களாகின்றன. அணுக்கருப் புலமும் மின்காந்தப் புலமும், பிரியாமலிருக்கின்றன. அணுக்கருவினின்று தோன்றிய துகள் மின்காந்தப் பண்புடையதாக மாறுபடுவதைக் காண்கிறோம்.

பை-மெசான்கள் இரண்டாகவும், ம்யூ-மெசான்கள் மூன்ருகவும் ஏன் சிதறுகின்றன? தற்சுழற்சியே அதற்குக் காரணம். ஒரு துகளின் தற்சுழற்சி அது சிதறுண்டப் பகுதிகளின் மொத்தச் சுழற்சிக்குச் சமமாகும்.





படம் 25

ம்யூ-மெசானின் தற்சுழற்சி எண்ணும், எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி எண்ணும் அரை ($\frac{1}{2}$) ஆகும். எலெக்ட்ரானின் நிறை ம்யூ-மெசானின் நிறையைவிடக் குறைவு. இந்த எச்ச நிறையே நியூட்ரினேவின் ஆற்றலாகிறது. ஆனால், நியூட்ரினேவின் தற்சுழற்சி அரையாதலால் சிதறுண்டப் பகுதிகளின் மொத்தச் சுழற்சி துகளின் தற்சுழற்சியைவிட அதிகமாயுள்ளது. எனவே, எதிர் நியூட்ரினே ஒன்று எதிர் தற்சுழற்சியுடன் தோன்றுகிறது. மூன்று துகள்களின் தோற்றத்தை இவ்வாறு விளக்கலாம்.

பை-மெசான் அழிகையில் ஒரு ம்யூ-மெசானும் ஒரு நியூட்ரினேவும் தோன்றுகின்றன. இவை யிரண்டின் தற்சுழற்சி எண்கள் எதிர்க்குறிகள் கொண்டன. அவற்றின் கூடுதல் சுழியாகும், பை-மெசானின் தற்சுழற்சியும் சுழிதான்.

ஹைபெரான்கள் அழிகையில் கடைசியில் நிலேயாக உருவாவது புரோட்டான்; பை-மெசான்களும் வெளியாகின்றன. அழிந்து மாற்றமுறுவதில் இருவகைகள் தெரிகின்றன. இலேசான துகள்களினின்று எலெக்ட்ரானும் பளுவான துகள்களினின்று புரோட்டானும் கடைசியில் மிஞ்சி நிற்கின்றன. கிளேத் துகள்களாக ஒன்றில் நியூட்ரினேவும் மற்ருென்றில் பை-மெசானும் முறையே காணப்படுகின்றன.

இம் மாற்றங்களின் பாதைகளே நிர்ணயிக்க ஏதாவது விதிகளுண்டா?

முதுபழங் கொள்கையிலுள்ளதுபோல, மின்னூட்டம், தற்சுழற்சி இவற்றின் அழிவின்மை விதியிருப்பதைக் காண்கிருேம். ஆனல், இவ் விதிக்கு விலக்குகள் சில இருப்பதையும் காண்கிருேம்.

நிலேயற்றத் துகள்கள் அழிவுற்று, எலெக்ட்ரானுகவும், புரோட்டானுகவும் மாற, குறிப்பிட்ட அழிவுப் பாதைகளேவரை யறுத்துக் கூறவல்ல விதிகளிருக்கவேண்டும்.

இயற்பியலார் இடையீட்டுச் செயல்களை வகைப்படுத்துகின்றனர்

ஓர் உவமையிலிருந்து தொடங்குவோம். ஒரு மலையை அழிக்கப் பல வழிகளுண்டு. ஒன்று பெரு வெடிப்பு, எரிமலை எழுச்சிபோல, சற்று வன்மைகுறைந்த முறை பூகம்பத்தாலே ஏற்படுவது. மிக மெல்ல நிகழ்வது, காற்று, வெப்பம், தண்ணீர் இவற்றால் மலை கரைந்துபோதல். ஒரு நொடியிலும், சில மணி களிலும், சில ஆயிரம் ஆண்டுகளிலும் நிகழ்பவை மேற் குறிப் பிட்டவை.

மிகச் சிறு துகள்கள் அழிவுறுதலிலும் வன்மையையும், நிகழும் நேரத்தையும் பொறுத்து மூன்று வகைகளிருப்பதைக் கண்டனர். அணுக்கருத் துகள்களின் மோதலிலும், அணுக் கருவினுள் நிகழும் இடையீட்டுச் செயல்களிலும் காணப்படுவது முதல்வகை. அதாவது, வலிமைமிக்க இடையீட்டுச் செயல் (strong interaction). இந் நிகழ்ச்சிகளின் ஆற்றல்கள் பெருமள வானவை. பை-மெசானின் தகுதியாற்றலைவிட அதிகமானவை. தெளிவின்மைக் கொள்கைப்படி இவை நிகழும் நேரங்கள் ஏறத்தாழ 10^{-23} செகண்டுகள்.

அடுத்தவகை, மின்காந்த இடையீட்டுச் செயல்கள் (electro-magnetic interaction) எலெக்ட்ரானும், பாசிட்ரானும் இணைந்து இரு காமா ஃபோட்டான்களாக மாறுவதும் மின்னூட்டமற்ற பை-மெசான் அழிந்து காமா ஃபோட்டான்களாதலும், இவ் வகையைச் சார்ந்தவை. இச் செயல்களின் நேரம் ஏறத்தாழ 10^{-17} செகண்ட் ஆகும்.

கடைசியாக, வலிமை குறைந்த வெகு நேரம் நிகழும், செயல்கள் (weak interactions) சிறு துகள்கள் பட்டியலிலுள்ள பெரும்பாலான அழிவு முறைகள் இவ் வகையைச் சார்ந்தவை. குறிப்பாக ம்யூ, பை-மெசான்கள் நியூட்ரான், ஹைபெரான் இவற்றின் அழிவுகள். இவ் வகைச் செயல் நிகழும் நேரம் 10^{-10} செகண்டிற்கு மேற்பட்டது.

துகள்களை வகைப்படுத்துகையில் கே-மெசான்களும், ஹைபெரான்களும் மற்றவைகளைப்போலன்றி வேறு வகையில் அடுக்குகளாகச் சேர்ந்தது கவனத்திற்குரியது. மற்றவைகளின் பாகுபாட்டில் இடம் பெறவில்லை இத் துகள்கள்.

இத் துகள்களை, அதிசயத்துகள் (strange particles) என்றே குறிப்பிட்டனர் இயற்பியலார். அவற்றின் மாறுபட்டத் தன்மை யையும் அதிசயத்தன்மை (strangeness) என்று குறிப்பிட்டனர்.

வன்மை குறைந்த இடையீட்டுச்செயல் வழியாகத்தான் இவ்வதிசயத் துகள்கள் சாதாரணத் துகள்களாக மாறமுடியும். சாதாரணத் துகள்கள் மோதுகையில் அதிசயத் துகள்கள் இரட்டைகளாகத் தோன்றுகின்றன. அவற்றின் மொத்த அதிசயத்தன்மை, அவை தோன்றக் காரணமாகவிருந்த துகள்களின் அதிசயத்தன்மைபோல சுழியாக இருக்கும்.

மின்காந்த, வன்மைமிக்க இடையீட்டுச் செயல்களிலும் அதிசயத்தன்மையின் அழிவின்மை விதி காக்கப்படுகின்றது. ஆனுல், வலி இழந்த இடையீட்டுச் செயல்களில் இவ் விதி காக்கப்படுவதில்லை.

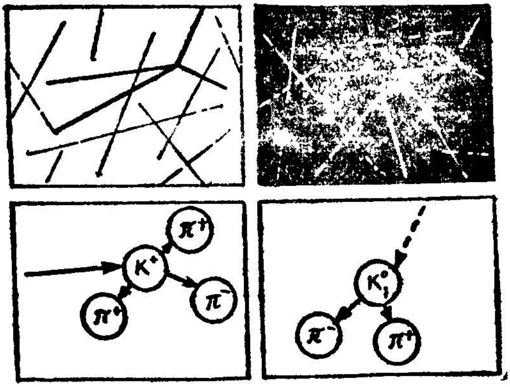
விதிகள் பலவாயின. ஒரு பொது விதி கிடைக்கவில்லையே !

இதுவரை கண்டறிந்த பண்புகளைக் கோர்வைப்படுத்தி விளக்க முடியவில்லை, அழிவின்மை விதிகளால் ஓரளவு சிக்கல்களைத் தீர்க்க முடிந்தது.

கே-மெசான்கள், அழிவுறுதலை ஆராயும்போது, வெற்றிட விளைவுகளின் கண்டுபிடிப்புக்குப் பிறகு இயற்பியல் ஒரு பெரிய கண்டுபிடிப்பு நேர்ந்தது. அதுதான் சமவிளைவின் (parity) அழிவின்மை விதியில்லை என்பது

கே-மெசான்களின் மர்மம்

கே-மெசான்கள், விண்வெளிக் கதிர்களில் 1955-ல் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. புகைப்படத் தகடுகளில் கிடைத்த நூற்றுக் கணக்கான துகள் சுவடுகளில் (tracks) இருந்து இயற்பியலாள



படம் 26

மூன்று வகை கே-மெசான்களுள்ளதைக் கண்டுபிடித்தனர். எலெக்ட்ரானைப்போல ஆயிரம் மடங்கு நிறையுள்ளவை அவை

பை-மெசான்களைப்போலவே மூன்று வகையில் (+ve, 0 , −ve) இருப்பவை. அவற்றிற்கும் தற்சுழற்சியில்லை. ஆனால், மின்னூட்ட மற்ற கே-மெசான் மற்றவைகளைவிடக் கூடுதல் நிறையுடையது.

இவற்றைத் துல்லியமாக ஆராய்கையில் மின்னூட்ட முள்ளவை, பை-மெசான்களாக மாறுவதைச் சுவடுகளில் கண்டனர்.

ஆனால் மின்னூட்டமற்ற துகள் வியப்பூட்டும் வகையில் அழிவுற்று மாறுதலடைவதைக் கண்டனர்.

சிலமுறை, மூன்று பை-மெசான்களாகவும், சிலமுறை இரண்டு பை-மெசான்களாகவும் இவை மாறுதலடைவதைக் கண்டனர்.

இதை விளக்க, 'டௌ' 'தேட்டா' என்று இரு வகையாக, மின்னூட்டமற்ற கே-மெசான்களைப் பிரித்தனர். இவை இரண்டு வெவ்வேறு வழிகளில் அழிவுறுபவை.

ஆனால், ஒரே துகள் இம்மாதிரி இரு முகத்துடன் செயல் படுவது, குழப்பத்தையே விளைவித்தது.

இதையே அக் காலத்தில் டௌ-தேட்டா புதிர் (tao-theta puzzle) என்றனர். இதில் அதிசயத்தன்மை என்ன? மற்ற ஆற்றல் உந்த விதிகளுக்குட்பட்டாலும், சமவிளைவு விதிக்குப் புறம்பாக இருந்தது இத் துகளின் மாறுதல்கள்.

இடது, வலது இரண்டிற்கும் என்ன வேறுபாடு?

ஓர் அணுவில் உள்ள மின்னணுவின் ஆற்றல் நிலை மாறி ஃபோட்டான்கள் வெளியாவதை நினைவுபடுத்திக் கொள்வோம். அம் மின்னணுவின் ஆற்றல் நிலைகளைக் காட்டும், நிகழ்திறன் மேகங்கள் ஒன்றையொன்று தொட்டிருந்ததா என்பதில்தான் கவனம் செலுத்தினோம். இந் நிலையுடன் 'சமவிளைவு' (parity) தொடர்புள்ளதெனத் தெரிகிறது.

அணுவின், ஆற்றல் நிலை அடுக்குகளை எண்ணிட்டுப் பார்த்த பொழுது, இரட்டைப் படை எண்ணிலிருந்து, ஒற்றைப்படை எண்ணுள்ள நிலைக்குத்தான் எலெக்ட்ரான் தாவ முடியுமெனத் தெரிந்தது. 1924-ல் கண்டுபிடித்த இவ் விதிக்குப், பின்னர்க் குவான்டம் எந்திரவியல் வழியில் விளக்கம் தரப்பட்டது. அலைச் சார்புக்கு (wave function) சமவிளைவு என்ற பண்பு நுழைக்கப் பட்டது.

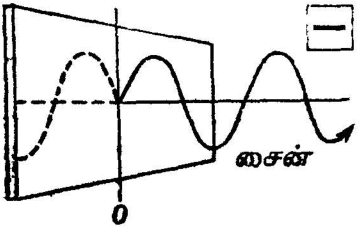
அலைச் சார்பென்பது. ஸ்ரோடிஞ்சர் வாய்பாட்டின் தீர்வே யாகும். சமவிளைவைப்பற்றிச் சற்று பார்ப்போம்.

தன்னுடைய புகைப்படத்தைப் பார்த்த பலர் 'இது என்னைப் போலில்லை' என்று கூறுவதைக் கேட்டிருக்கிறோம். படமெடுத்த வரை, குறை கூறுவர் சிலர். ஒரு முகம் பார்க்கும் கண்ணாடியில் நாம் நம்மைப் பார்க்கும்பொழுது, இடவல மாற்றங்கள் ஏற்படு வதைக் காண்கிறோம். படமெடுத்து, படமாக்குகையில் இரண்டு அல்லது மூன்று முறை இடவல மாற்றங்களேற்படலாம். புகைப் பட பிம்பமும், ஆடியில் காணும் பிம்பமும், வேறுபட்டுத்தான் இருக்கும். முழுச் சமச்சீரான முகத்தின் பிம்பங்கள்தான் ஒன்று போலிருக்கும். இயற்கைச் சமச்சீரை விரும்பினாலும், சிறு மாற்றங் களையும் இழக்கிறது.

சமச் சீரிருந்தாலும் இல்லாவிட்டாலும் இரு பிரதிபலிப்பு களுக்குப் பிறகு பிம்பம் பொருள் போலவே தோன்றும். இரண்டு எதிர்க் குறிகள் நேர்க் குறியைத் தருவது போல. சீரற்றப் பகுதிகள் இரு பிரதிபலிப்பில் அடிபட்டுவிடுகின்றன. ஆனால், இவை ஒரே பிரதிபலிப்பில் மாற்றமுடன் தோன்றும்.

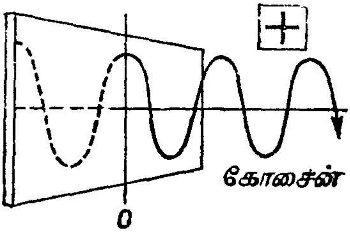
இதே பண்புகள், அலைச் சார்புகளுக்குமுண்டு. இவை சாதாரண கணக்கியல் சார்புகள்தான். சைன், கோசைன் (sine, cosine) சார்புகள் நாம் நன்கறிந்தவை. சைன் வரைகோடு, ஓர் ஆடியில் மாறியும் கோசைன் வரைகோடு மாறாமலும் தெரிவதைக் கீழுள்ள படங்களில் காணலாம்.

இதைத்தான் கணக்கியலில் கோசைன் சார்பை இரட்டைப் படையென்றும் சைன் சார்பை ஒத்தைப்படையென்றும் கூறுவர். ($\sin(-\theta) = -\sin\theta$; $\cos(-\theta) = \cos.\theta$), ஆதலால், ஸ்ரோடிஞ்சர் வாய்பாட்டின் தீர்வுகளைப் பார்க்கும்பொழுது அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் நிலை மாறுகையில் சமவிளைவு மாற்றம் அடைவதில்லை என்பது தெளிவாயிற்று. ஓர் எலெக்ட்ரானின் அலைச் சார்பு இரட்டைப்படையாயிருந்து, எலெக்ட்ரான் நிலை மாறுகையில் ஒற்றைப்படையாக மாறினால். அது ஒன்றை நிச்சயப்படுத்தும். அதாவது, இம் மாற்றத்தினால் வெளியான ஃபோட்டானின் அலைச் சார்பு ஒற்றைப் படையாகத்தான் இருக்கும் என்பது. இந்தச் சமவிளைவு (parity) என்ற பண்பு அணுவாற்றல் நிலைகளுக்கு மட்டுமில்லாமல் துகள்களுக்கும் கொடுக்கப்பட்டது. எலெக்ட்ரான் ஓர் ஒற்றைப்படைத் துகள் எனப்பட்டது. ஓர்



படம் 27

எலெக்ட்ரான் வலதுபுறம் செல்கையில் அதன் தற்சுழற்சி கீழ்த் திசையிலிருப்பதாக உருவகப்படுத்தி, ஓர் ஆடியில் எலெக்ட்ரானின் பிம்பத்தில் என்னவாகிறதெனப் பார்க்கலாம். பிம்பத்தில் இட, வல மாற்றம்தான் ஏற்படுமாதலால் தற்சுழற்சியின் திசை அப்படியே இருக்கும். இது உண்மை எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சிக்கு நேர் எதிராக இருத்தலால் எலெக்ட்ரானே ஒற்றைப் படத் துகள் எனலாம்.



படம் 28

பை-மெசானும் ஒற்றைப்படத் துகள்தான். நிலையற்றத் துகள்களுக்கும் இந்த சமவிளைவு பண்பைக் கொடுத்து, ஒரு விதியை ஏற்படுத்தினர். அதாவது, ஒரு துகள் துகள் அழியுமுன் அதன் சமவிளைவு, அதிலிருந்து தோன்றியத் துகள்களின் சமவிளைவுகளின் பெருக்கத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். சமவிளைவு அழிவின்மை விதி (law of conservation of parity) என்பர் இதை.

மின்னூட்டமற்ற கே-மெசான் இவ் விதியைப் பின்பற்றவில்லை. இத் துகள் இரண்டு பை-மெசான்களாவது இவ் விதிக்குள் ஆனல், மூன்று பை-மெசான்களாகையில் விதி கடைபிடிக்கப்படுவதில்லை. இவ்விருவகை அழிவுகளும் ஒரே துகளிலிருந்துதான் விளைகிறது. டௌ, தேட்டா மெசான்களிரண்டும் ஒரே நிறையானவை. கே-மெசான் இரு சமவிளைவுப் பண்புடையதாக இருக்குமோ! இல்லை. குவான்டம் இயல் உண்மையிலேயே ஓர் இக்கட்டில் அகப்பட்டுக் கொண்டது.

ஒரு வழி தெரிந்தது

இதை எப்படித் தீர்ப்பது? கே-மெசான்கள் சமவிளைவு அழிவின்மைக்குப் புறம்பானது என்றால், இயற்கை தவறான ஆடியைப் பயன்படுத்துகிறதென்றுதான் பொருள். இதனல் இடது வலது வேறுபடுகிறது. வெறும் வெளியிடத்திலேகூடச் சமச்சீர் இல்லையோ என்ற ஐயமெழுகிறது.

பல ஆண்டுகளாக எல்லோரும் நம்பி வந்த, திசைகளின் சமனம், வெறும் வெளியில் திசையொப்பப் பண்பு (isotropy of space) என்ற விதி தவறானதா? இதை எப்படிக் கைவிடுவது என்ற நிலை ஏற்பட்டது.

லீ, யாங் என்ற இரு இளம் இயற்பியல் வல்லுநர்கள் இதற்கு ஒரு வழிவகுத்தனர். ஒருவித அச்சமுமின்றி அவர்கள் கே-மெசான்

களின் அழிவிலும் பொதுவாக வன்மை குறைந்த இடையீட்டுச் செயல்களிலும் சமவிளைவு விதி பின்பற்றப்படுவதில்லை என்று அறிவித்தனர். சில சோதனைகளினால் அவர்கள் கூற்றின் உண்மையைக் காணலாம் என்றனர்.

அவர்கள் கூற்றின்படி, கதிரியக்கத்தில் அணுக்கருவில் காணப்படும் பீட்டா அழிவில், (beta decay) எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவின் தற்சுழற்சியின் எதிர்த் திசையிலேயே பெரும்பாலும் வெளிவரவேண்டும்.

சாதாரண சூழ்நிலையில் அணுக்கருக்களின் தற்சுழற்சிகள் எல்லாத் திசைகளிலும் சரிசமமாகப் பரவியிருக்கும். இச் சுழற்சிகளை ஒரு திசைப்படுத்த முதலில் கதிரியக்கப் பொருளை வன்மை மிக்க ஒரு காந்தப் புலத்தில் வைக்கவேண்டும். இச் சாதனத்தைக் குளிரவைத்து, சார்பிலா சுழியருகிற்கு (absolute zero) வெப்ப நிலையைக் குறைக்கவேண்டும். அப்போதுதான் அணுக்கருக்களில் வெப்ப இயக்கத்தாலே ஏற்படும் விளைவுகளை நிறுத்தமுடியும். எலெக்ட்ரான்களை கண்டு பதிந்து எண்ணும் பொறிகளை அணுக்கருச் சுழற்சியின் திசைக்குச் சற்றுச் சாய்ந்த திசையிலும் அதற்கு எதிர்த் திசையிலும் பொருத்திப் பதிவுகள் செய்தனர். லீ, யாங் கூறியபடி முன்திசையில் பின்திசையைவிடக் குறைந்த எண்ணிக்கை பதிவாயிற்று.

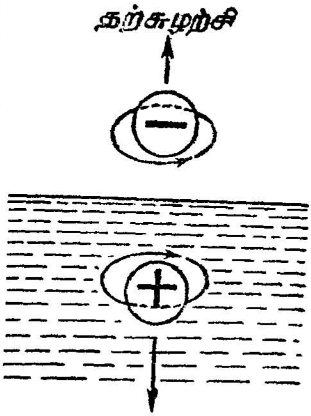
இம் முடிவின்படி வெளியில் இயற்பியல் விதிகள் தலைகீழாக உள்ளனவா! வெறும்வெளி ஒரு தவறான ஆடிபோலுள்ளதா! இல்லை, குறைபாடு துகள்களில் உள்ளனவேயொழிய, வெளியிடத்திலில்லை என்று லீ, யாங்கும் தனியாக ருஷ்ய இயற்பியல் வல்லுநர் லான்டாவும் கூறினர்.

சற்று முன்பு ஓர் எலெக்ட்ரான் பாதையை ஆடியில் பிரதிபலித்து சுழற்சித் திருப்பத்துடன் வந்த எலெக்ட்ரான் உண்மையானதல்லவென்று பார்த்தோம். ஆனால், அத் துகள் உண்மையானதே. அதற்கு எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தையும் பிரதிபலித்துப் பார்க்கவேண்டும். அப்படி விளைவது, நாமறிந்த பாசிட்ரான்தான்.

இயற்கை ஒரு நல்ல ஆடியாகத்தான் செயல்படுகிறது. இந்த ஆடி ஒரு வகை இரட்டை ஆடிபோல் உள்ளது. ஒரு துகளின் பிம்பம் அதன் எதிர்த் துகளாகிறது. எலெக்ட்ரானுக்குப் பாசிட்ரானும், மின்னூட்டமற்ற கே-மெசானுக்கு எதிர் கே-மெசானும் பிம்பங்களாகக் கிடைக்கின்றன. முன்னர் இருவகை கே-மெசான்

களைப் பார்த்தோம். அதில் ஒன்று ஒற்றைப்படைத் துகள். அதன் எதிர்த் துகள் இரட்டைப்படைத் துகள். டௌ-தேட்டா மர்மம் இப்பொழுது புரிந்துவிட்டது.

இரண்டு வகை பிரதிபலிப்புள்ளதைக் கண்டுபிடித்தவர்கள் லீ, யாங் என்ற இயற்பியலார். இக் கண்டுபிடிப்பு சேர்ந்த நேர் மாறல், அல்லது சேர்ந்த தலை கீழாதல் (combined inversion) என்ற அறிவியற் பெயர் கொண்டது. லான்டவ் என்பாரும் இதைத் தனியே கண்டு பிடித்துள்ளார்.



படம் 29.

இதிலிருந்து ஒரு துகளின் சுழற்சியும் அதன் எதிர்த் துகளின் சுழற்சியும் எதிர்த் திசைகளிலிருக்குமென முடிவாகக் கூறலாம்.

ஒரு துகளின் சுழற்சியை, அது தன்னைத்தானே சுற்றுதல் என்று கொண்டால் ஒரு துகளும் அதன் எதிர்த் துகளும் ஒரே திசையில் செல்லுகையில் அவற்றின் பரப்புகளின் சுழற்சி எதிர்த் திசைகளில் சுற்றப்பட்ட சுருள் வில்கள்போலுள்ளனவாகக் கருதலாம். சுருள்களின் இடவல அல்லது வலஇட முறுக்குகளை (helicity) துகள்களும் அவற்றின் எதிர்த் துகள்களும் ஏற்றிருப்பதாக உருவகப்படுத்திக் கொள்ளலாம்.

உலகுகளும் எதிருலகுகளும்

நாமறிந்த உலகில், பாசிட்ரான்களை எப்பொழுதோதான் காண்கிறோம். வலஇட சுற்றுகளைவிட, இடவலச் சுற்றுள்ளவைகளே மிகுதியாகக் காணப்படுதலால் துகள்களாலான உலகில் சமச்சீரில்லை எனலாம்.

இதில் வியப்பொன்றுமில்லை. பொதுவாக மற்ற பொருள்களையும் சற்றுக் கூர்ந்து நோக்குவோம். நத்தைகளில் மிகுதியானவை இடவலச் சுற்றுள்ள ஓடுகளைக் கொண்டவை. வேதியியலில் ஐசோமர் என்று கூறப்படும் (isomer) மூலக்கூறுகளில் இடப்புற வகையிலோ அல்லது வலப்புற வகையிலோதான் மிகுதியாகக் காணப்படுகின்றன. மக்களுக்கு இருதயமானது இடப் பக்கத்திலேயே உள்ளது. மக்களில்கூட வலக்கைப் பழக்கங்கொண்டவர்களே அதிகம். ஒரு சிலரே இடக்கைப் பழக்கமுடையவர்கள்.

விண்வெளியில், நாமிருக்கும் உலகுக்கெதிருலகு இருக்கக்கூடும் என எண்ணலாம். அவ் வுலகிலுள்ள அணுக்கருக்களில் எதிர்ப் புரோட்டான்களும், எதிர் நியூட்ரான்களும் அவற்றைச் சுற்றி பாசிட்ரான்களும் இருக்கலாம். அங்குள்ள உயிருள்ளவைகளும் நாமறிந்த வகைகளின் பிம்பங்கள் ஆக இருக்கலாம். ஆனால், எவ் வகையிலுமொத்த இவ் விருவகை உலகுகளிலும் எல்லா இயற்பியல் விதிகளும் ஒன்றாகத்தான் இருக்கமுடியும். அதனால்தான், நம்ம அருகிலேயே ஒரு பிம்ப உலகு இருந்தாலும் அது நமக்கு தென்படாதிருக்கலாம். இரண்டிற்குமிடையே எல்லையொன்று இருந்தால் அதைக் கண்டுபிடிக்க முயற்சிப்போம். அத்தகைய எல்லையில், எதிர்த் துகள்களின் மோதல்களில் விளையும் காமா ஃபோட்டான்கள் எங்கும் பரவும். அல்லது பை, கே-மெசான் களாகமாறி எல்லையிலொருவகை அரண்போலிருந்து துகள்கள் எல்லைமீறிச் செல்வதைத் தடுக்கலாம். ஆனால், இதுவரை இயற்பியலார் இத்தகைய எல்லையை எங்குமே,விண்மீன் மண்டலங் களிலும்கூடக் கண்டதில்லை.

துகள்களினுள் என்ன நடக்கிறது?

மிகச் சிறு துகள்களின் அளவுகள் என்ன என்பதைப் பார்ப் போம். துகள்களுக்குச் சரியான அளவுகளுண்டா? இதுவரை இக் கேள்வியை எழுப்பவில்லை. ஒரு துகளுக்கும் மற்றப் பொருள் களைப்போல் அளவுகளிருக்கத்தான் வேண்டும். கணக்கியல் விளக் கங்கொண்ட குவான்டம் இயல்பினால் இப் பிரச்சினைக்கு இயற்பிய லாரால் தீர்வுக்காண முடியவில்லை. துகள்களின் அலைப் பண்புகளே இந் நிலைக்குக் காரணம்.

துகள்களுக்கும் அவற்றின் புலங்களுக்குமுள்ள தொடர்பின் விளைவுகளே அலைப் பண்புகளாக வெளிப்படுகின்றன. இதனால் ஓர் எலெக்ட்ரானுக்குக் குறிப்பிட்ட அளவு தரப்படாமல் மெழுகினதுபோல்தான் அதைக் காட்டமுடிகிறது.

இத்தகைய நிலையை நவீன முறையில், எலெக்ட்ரான்கள் மாய ஃபோட்டான்களால் போர்த்தப்பட்டுள்ளனவென்று கூறலாம். ஓர் எலெக்ட்ரானின் ஃபோட்டான்கள் மற்றவைகளின் ஃபோட் டான்களால் ஈர்க்கப்படுவதாக அல்லது தள்ளப்படுவதாகக் கருதி வருகிறோம்.

இந்த ஃபோட்டான் போர்வையிலான மேகத்திற்கு எல்லை யில்லை. குறைவான ஆற்றலுள்ள ஃபோட்டான்களின் அலைநீளம் ஹைசன்பர்க் விதிப்படி, எவ்வளவு தொலைவிற்கு நீளலாம். ஃபோட்டான் மேகமுள்ளதால்தான், ஒரு துகளின் அளவுகளை வரையறுத்துக் குறிக்கமுடியவில்லை.

இருந்தும், மாய ஃபோட்டான்களின் ஆற்றல் (10^{-11} செ.மீ. அலைநீளத்திற்கேற்ப) எலெக்ட்ரான், பாசிட்ரான் இரட்டைகளே ஏற்படும் அளவிற்குச் சமமானல் அதன் அலை சுருங்கி மையத்தை அடைகிறது. நடுங்கும் எலெக்ட்ரானை அப்பொழுது காண்கிறோம். அது மெழுகியதுபோல் காணப்பட்டாலும், மிகச் சிறு இடத்திற்கு உள்ளேயே அடைபட்டிருக்கும். இருந்தாலும், அதன் அளவென்ன என்று அளந்து கூறமுடியாது.

ஃபோட்டான்களற்ற, எலெக்ட்ரான், பாசிட்ரான் மேகங்களற்ற வெற்றெலக்ட்ரான் (bareelectron) அதாவது போர்வையற்றத் துகள் ஒன்றிருந்தால் அதனளவை அளந்து பார்க்கலாம். ஆனல், மற்றவைகளோடு, இடையீட்டுச் செயல்படாத துகளே இல்லை. ஒரு துகளுக்கும் அதன் இடையீட்டுச் செயலுக்குமுள்ள ஒற்றுமையைப் பிரிக்கவேமுடியாது. இம் மேகங்களுக்குள் மையத்தில் ஒரு கடினத் தண்டொன்று இருப்பதாக இயற்பியலார் எண்ணினாலும் அதைப்பற்றி முடிவாக ஒன்றும் தெரியாதென்றே கூறலாம். இயற்பியலார் அடிப்படைத் துகளான புரோட்டானுக்கும் ஓர் அமைப்பைக் கொடுக்க முற்பட்டனர். புரோட்டான்கள் நிலையாற்றலைவிட ஆற்றலதிகமுள்ள மாய பை-மெசான்களை வெளியிடுகின்றன. இவற்றின் வாழ்வு நேரங்கள் மிகக் குறுகியது. அதனல், இவை புரோட்டான்களிலிருந்து வெகுதூரம் செல்லமுடியாது. புரோட்டானைச் சுற்றியுள்ள பை-மெசான் மேகம் 10^{-13} செ.மீ. அளவுதான் இருக்குமென ஏற்கெனவே கண்டிருக்கிறோம்.

புரோட்டான்களுக்கும், கே-மெசான்களுக்குமிடையே ஆற்றல் மிக்க இடையீட்டு விளைவுகளேற்படுதலைக் கண்டிருக்கிறோம். கே-மெசானின் நிலையாற்றலே பை-மெசானுடையதைப்போல் மூன்று மடங்காகும். கே-மெசான் மேகம் பை-மெசானுடையதை விட மிகச் சிறிதாக, புரோட்டானையடுத்து நெருங்கியிருக்க வேண்டும். அதற்குள் நடுங்கும் புரோட்டான், புரோட்டான் எதிர்ப் புரோட்டான் இரட்டையாக, மாய அழிவடைந்து கொண்டிருக்க வேண்டும்.

இயற்பியல் துகள்களின் அமைப்புகள், துகள்களுக்கிடையே நடக்கும் இடையீட்டு விளைவுகளின் பிரதிபலிப்பென்ற முடிவுக்கே வருகிறோம். துகள்களின் சாரம் சுலபமாக மாறும், நீர்மத் தன்மையதென்று தான் கருதப்படுகிறது. துகள்களின் இடையீட்டு விளைவுகள் அவற்றின் அமைப்புகளில் ஒன்றிய பகுதியே வெளியிலிருந்து புகுத்தப்பட்டவையல்ல என்று உணர்ந்தால் இக் கருத்தின் உண்மையை அறியலாம். துகள்களுக்கும் அவற்றிற்கிடையே விளையும் இடையீட்டு விளைவுகளுக்குமுள்ள உறவு பருப்

பொருளுக்கும் புலத்துக்குமுள்ள உறவைச் சார்ந்தது. இதை ஒரு (dialectical) வாத முறை முரண்பாட்டு உறவென்றே கூறலாம்.

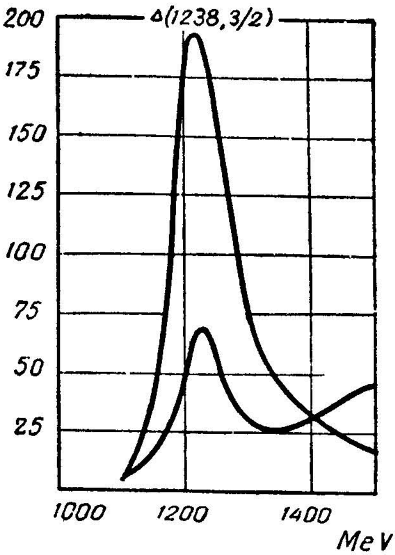
துகள்களுக்கும், அவை உணரும் இடையீட்டு விளைவுகளுக்குமிடையே உள்ள உறவை இயற்பியலார் சுற்றி வளைத்து விளக்குகின்றனர்.

விரைவில் இக் கட்டத்திலிருந்து வெளிவர ஒரு வழி கண்டு பிடிக்கப்படும். சில ஆண்டுகளாகத் துகள்களின் உலகில் அறிவியலாரின் முயற்சிகள் பலன்கள் பல தந்துள்ளன. முயற்சிகளின் பலனாக ஒரு சீரான அமைப்பு தெளிவாகும் என்பதில் ஐயமில்லை.

மர்ம ஒத்ததிர்வுகள்

1950-ல் இயற்பியலார், பல புது அமைப்புகளைக் கண்டனர் துகள்களென்று அவற்றைக் கூறலாமென்றால் முடியவில்லை

நீங்களே ஒரு முடிவிற்கு வர முடியுமா என்று பாருங்கள். ஓர் இயற்பியல் ஆராய்ச்சியாளர் துகள் முடுக்கியின் உதவியால் ஆற்றல் மிகுதியாகவுள்ள புரோட்டான்களை புரோட்டான்களுள்ள ஓர் இலக்கு (target) மீது செலுத்துகிறார். தாக்குற்ற இலக்கிலிருந்து பை-மெசான்களுடன் பல புதுத் துகள்கள் வெளிவருகின்றன. பை-மெசான்களை மட்டும் பிரித்து, மறுபடியும் புரோட்டான்களுள்ள ஒரு பொருள் மீது மோதுமாறு செய்கிறார். இம் மோதலில் என்ன விளைவுறும்?



படம் 30

நாம் முன்னரே கண்டவாறு, கே-மெசான்களும், ஹைபெரான்களும் உருவாகின்றன. பல பை-மெசான்கள், எல்லாத் திசைகளிலும் சிதறும். இத் தகைய சிதறலில் அணுக் கருவிசைகளைப் பற்றி அறியலாமாதலால், இயற்பியலார் புரோட்டான்களால் சிதறப்படும் பை-மெசான்களைக் கூர்ந்து ஆராய்ந்தனர்.

முதலில், சிதறல்பற்றிய விவரங்களில், புதிதாக ஒன்றும் தெரியவில்லை. ஆனால், ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலுள்ள

பை-மெசான்கள் எண்ணிக்கை மிகுதியாகச் சிதறப்பட்டன. சிதறல் வெட்டு முகப்பிற்கும் (scattering cross-section) மெசான் ஆற்றலுக்கும் வரையப்பட்ட வரை படம், ஓரிடத்தில் உயர்ந்து இருப்பதைக் காணலாம்.

1952-ல் இதை முதன் முதலில் கண்டவர் என்ரிகோ ஃபெர்மி என்பவர் அவர் கலிஃபோர்னியா பல்கலைக் கழகத்தில் செய்த செயல்முறை ஆய்வுகளில் 1.25 (Gev) எலெக்ட்ரான் வோல்ட் ஆற்றல் கொண்ட மெசான்கள் மிகுதியாக சிதறுண்டதைக் கண்டார். இச் செயல் ஒலியியலில் காணும் ஒத்ததிர்வு (resonance) போலவே இருந்தது. அதனால் வரைபடத்திலுள்ள உயர்வுக்கு ஓத்ததிர்வென்றே பெயரிட்டார்.

உண்மையிலே நடப்பது என்ன? குறிப்பிட்ட ஆற்றலுள்ள மெசான்கள் மிகுதியாகச் சிதறுகிறதென்றால், அவை புரோட்டான்கள் அருகில் சற்றே தங்கி வேகம் குறைவுற்றுச் செல்கின்றன வென்றுதான் கருதமுடியும்.

புரோட்டானின் அளவு 10^{-13} செ.மீ. மெசானின் வேகம் ஏறத்தாழ 10^{-10} செ.மீ ஒரு செகண்டிற்கு இம் மதிப்புகளை வைத்துக் கணக்கிட்டால் தோராயமாக 10^{-23} செகண்டில் மெசான் புரோட்டானைக் கடந்து செல்லும். வலிவு மிக்க இடையீட்டுச் செயல்களின் நேரமும் இதுதான். ஒத்ததிர்வுரும் மெசான்கள் மற்றவைகளைவிடச் சற்று அதிக நேரம் புரோட்டானின் அருகில் இருக்கிறதேயென்று எண்ணலாம்.

ஆனால், இக் கூடுதல் இடைவேளையைக் கணக்கிட முடியாது. இச் சிறு இடைவேளையில் மெசானும் புரோட்டானும் சேர்ந்து பிரிகின்றதா? இதைச் சரியாக விளக்கமுடியாதென்கின்றனர் இயற்பியல் வல்லுநர்கள். ஆனால், இச் செயலில் புது பை-மெசான்கள் வெளியாகின்றன. அணுக்கருவாற்றல் பருப்பொருளாகி புதிய புலம் குவான்டங்களாகின்றனவோ, மாயச் செயலிலும் உண்மை விளைவுகள் ஏற்படுகின்றனவா?

திரை விலகுகிறது

சில காலத்திற்குப் பிறகு ஒத்ததிர்வைப்பற்றிய கருத்து மாறுதலடைந்தது. ஒத்ததிர்வில் வெளிவரும் துகள்களும், மற்றவை போன்றனவே என்றனர்.

ஒரு துகளெனப்படுவதென்ன? ஒரு பருப்பொருளமைப்புடன், நிறை, மின்னூட்டம், தற்சுழற்சி, வாழ்வுநேரம் முதலிய பண்புகள்

கொண்டது. ஆனால், வரையறுக்கக்கூடிய பரிமாணங்களில் இல்லாதவை.

வாழ்வு நேரமென்றால் என்ன என்பதைப் பார்ப்போம். புரோட்டான் ஒரு நிலையான துகள். அதன் வாழ்வுநேரம் வரம் பற்றது. ஆனால், மின்னூட்டமுள்ள பை-மெசான் ஒரு செகண்டின் பல்லாயிர மில்லியனில் ஒரு பகுதி நேரமே வாழ்கிறது. மின்னூட்ட மற்ற பை-மெசான் இன்னும் குறைந்த காலத்தில் அழிவடைகிறது. இப்படி இருந்தும் இவைகளைத் துகளகளென்றே கூறவேண்டியிருக் கிறது.

அடுத்தது நிறை. ஓர் ஒத்ததிர்வு என்பதற்கும் நிறை உண்டு. ஐன்ஸ்டீன் வாய்பாட்டின் உதவியால் இதைக் கணக்கிடலாம். மின்னூட்டம், தற்சுழற்சி முதலியவற்றையும், ஒத்ததிர்வுத் துகள் அழிவுறும்பொழுது கணக்கிடமுடியும்.

ஒத்ததிர்வுத் துகள்களுக்கும் மற்றத் துகள்களுக்குப் போலான பண்புகளுண்டென்பது வியப்பாகத்தானிருக்கிறது. இயற்பிய லாருக்கு இது புதிதல்ல. பருப்பொருள், புலம் இவை யிரண்டின் வாயிலாகவும் எந்த அமைப்பையும் விளக்க முடிகிறது. குவான்டம் இயலால் இது முடிகிறது.

இரு விளக்கங்களும் உட்பொருளை நோக்குங்கால் ஒன்றேதான். ஒத்ததிர்வு என்பதை தனித்துகளாகவோ, அல்லது பல துகள்கள் மிகக் குறைந்த நேரத்திற்கு ஒன்றுசேர்ந்து கூட்டமாகவோ செயல் படுவதாக எண்ணலாம். எம்முறை பலனளிக்கவல்லதோ அதை எடுத்துக்கொள்ளலாம். ஒத்ததிர்வுத் துகள்களையும் துகள்களின் எண்ணிக்கையிலொன்றாகச் சேர்த்தது முக்கியமான வெற்றி யாகும். இம்மாதிரி வரைகோட்டு உச்சங்கள் அணுக்கருவால் சிதறப்படும் புரோட்டான்களிலும் காணப்பட்டனவென்பதை கே-மெசான், பை-மெசான் சிதறலைப்பற்றிய சோதனைகள் நினைவிற்குக் கொண்டுவந்தன.

ஓர் அணுக்கருவைத் தாக்கி: அதனுடன் இணையும் புரோட் டானால், அணுக்கருவின் ஆற்றல் உயருகிறது. மறுபடி முன்னிருந்த நிலைக்கு மாறும்பொழுது ஒரு புரோட்டானும், காமா கதிரும், அல்லது வேறு துகளும் வெளிவரும். புரோட்டான்களின் ஆற்றல் சரியான அளவாகவிருந்தால், சிதறல் வரைபடத்தில் உச்சங்களைக் காணலாம்.

ஒத்ததிர்வுகளையும் இவ்வாறே கருதினால், அவற்றை, புரோட்டான், மெசான் ஹைபெரான் போன்ற துகள்களின், ஆற்றல் உயர்ந்த நிலைகளாகக் கருதலாம்.

1960-ல் முன்கூட்டியே கூறப்பட்ட இக் கருத்துகள் பின்னர் சரியானவை என ஐயப்பாடின்றிக் காட்டப்பட்டன.

ஒத்ததிர்வுகள், துகள்களின் இனத்தில் சேர்க்கப்படுகின்றன

புதுக் கருத்துகள், சிறு துகள்களை வகைப்படுத்தப் பெரிதும் பயன்பட்டன. தொகைக் கணிப்பில் ஒத்ததிர்வுகளும் இடம் பெற்றன.

ஆனால், அவை பல வழிகளில் அழிவுற்று புதுத் துகள்கள் வெளிவருகின்றன. கொள்கைகள் உருவாக்குகிறவர்கள், செயல் முறை விவரங்களுக்கு எதிர்பாராமல் புதுக் கருத்துகளை வெளியிட்டனர். பல தவறுகளும் செய்தனர். இருந்தாலும் முன்னேற்றம் கண்டனர்.

ஏறத்தாழ ஒரே நிறையுடைய துகள்களை ஒரு வகைப்படுத்த ஐசோடோப் சுழற்சிப் பயன்பட்டதைப் பார்த்தோம். சிறு துகளுலகிலிருந்த குழப்பத்தைத் தீர்க்க முதல்படியாயிற்று இச் சுழற்சி. அடுத்தபடி ஐசோடோப் கூட்டங்களையும் இணைக்க முற்பட்டது. மூன்றுவகைத் துகள் குடும்பங்கள் உள்ளனவென்பது தெளிவாயிற்று. லெப்டான்கள், மெசான்கள், பாரியான்கள் என்பவை அவை.

லெப்டான்கள், எண்ணிக்கையில் குறைவாயிருந்தாலும் இன்னும் இயற்பியலாருக்குப் புதிராக உள்ளன. எந்த விதிகளுக்கு முட்படாத இவை ஏன் உள்ளன என்று புரியவில்லை.

எதிர்மாறாக, மற்ற துகள் கூட்டங்கள் நமக்கு நம்பிக்கை தருகின்றன. புதுமுறைகளில் துகள்களை வரிசைப்படுத்தி துகள்களை வகைப்படுத்தினர். இம் முறையை எண்மடி (eightfold) வழி என்றனர். ஒற்றை, இரட்டை, மும்மடி முதலியவை நாமறிந்தவை. சுழற்சி ½, 0, 1 என்ற மதிப்பீடுகளின் அடிப்படையில் சேர்க்கப்பட்டவை. இப்பொழுது எண்மடிகள் (octets) நம் கவனத்தை ஈர்க்கின்றன.

இதுவரை நிறை, மின்னூட்டம், இருவகை சுழற்சிகள் இவைகளை வைத்து வகைப்படுத்தும் முறைகளில் முழுமை ஏற்படவில்லை. ஏதாவது ஒரு துகள், தனித்து நின்று தொல்லை கொடுத்தது.

1961-ல் அமெரிக்க கெல்மானும், இஸ்ரேல் நாட்டு நேமானும் இப் பண்புகளைத் தவிர்த்து ஐசோடோப் சுழற்சி, அதிசயத்தன்மை என்ற இரண்டைமட்டும் வைத்து துகள்களை பாகுபடுத்தலா

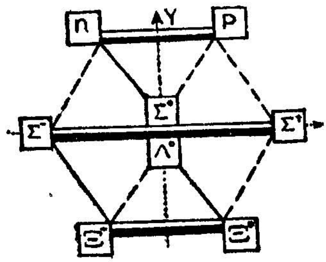
மென்றனர். இச் சுழற்சியில் மூன்று பண்புகள் எளிதில் புரிந்து கொள்ள இயலாதவை. ஆகவே, மொத்தம் நான்கு பண்பு களாகும். நாம் அவைகளை ஏற்றுக் கொண்டால் இன்னும் நான்கைச் சேர்த்து எட்டாக்கலாம். இவை இன்றும் பெயரிடப்படவில்லை.

மும்மடிகள் எண்மடிகள்

இந்த எண்மடித் தொகுப்புகள், நாம் எளிதில் புரிந்து கொள்ள முடியாத கணக்கியல் மொழியில் விவரிக்கப்படுபவை. 3 × 3 ஆக அடுக்கப்பட்ட அலகுத் தொகுப்புகளாகும் இவை.

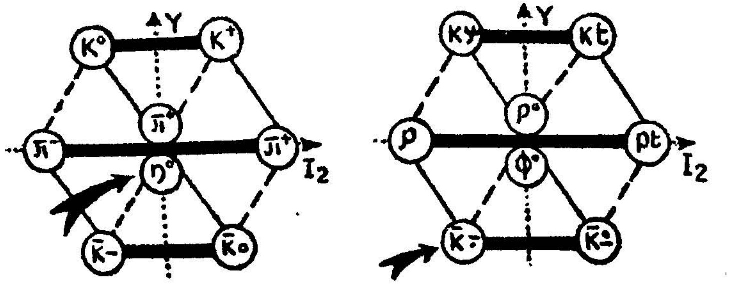
இத் தொகுப்பை விளைவிக்கும் அளவினங்கள் ஒரு துகளைச் சார்ந்ததானால், அத் தொகுப்பின் எல்லா துகள்களும் ஒன்று

பாரியான்கள் சுழற்சி



(a)

மெஸான் (கொள்கை அளவில் எதிர்பார்க்கப்படுவன.)

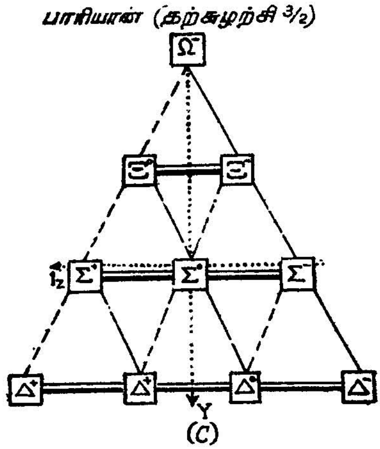


(b)

படம் 31

மற்றொன்றாக மாறலாம். இவை யாவும் பொது ஆதியைக் கொண்டவை. கணக்கியலில் நாம் அறிந்தது எண்தொகுப்புகள்.

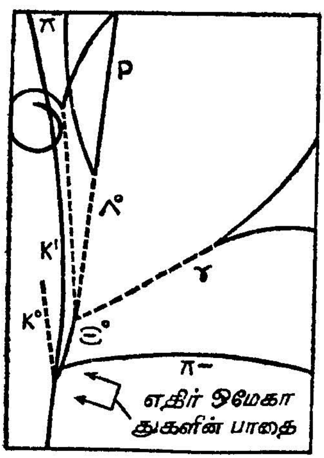
அலகு சமச் சீருள்ளவைகளும் அத்தகையனவே. எட்டுத் துகள் தொகுப்புகளும் அவ் வகையைப்போன்றதேயாகும். மெசான்களை எடுத்துக் கொள்வோம். மூன்று பை-மெசான்களும் நான்கு கே-மெசான்களும் நாமறிந்தவை. எட்டாவது மெசான் எங்கே? அதன் பண்புகளை முன் கூட்டியே இக் கொள்கைப்படி அறிவித்தனர்.



படம் 31-சி

இந்த எட்டாவது மெசானுடைய தற்சுழற்சி 0, மின்னூட்டம் ஐசோடோப் சுழற்சி. 0, நிறைகிட்டத் தட்ட 1,100 எலெக்ட்ரான், நிறை, அதே 1961ஆம் ஆண்டில் செயல் முறையில் அத் துகள் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. அறிவித்த நிறை 1,080 எலெக்ட்ரான்களுடையது. கண்டுபிடித்தது 1,100 எலெக்ட்ரான் நிறை !

புதுக் கொள்கை எல்லோராலும் ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டது. ஒத்ததிர்வுத் துகள்களை அடுக்கி எட்டுத் துகள்கள் தொகுக்கப் பட்டன.



படம் 32

நிறைமிக்க பாரியான்கள் இத் தொகுப்பில், சரியாகப் பொருந்து வதைப் படத்தில் காணலாம். அடுத்து 3,000 எலெக்ட்ரான் நிறையுள்ள ஒத்ததிர்வு ஹைபெரான்கள். இவ் வகையில் பத்து துகள்களுள்ள தொகுப்பிருக்க வேண்டுமென்றும், இவைகளின் சுழற்சி 3/2 ஆக இருக்க வேண்டுமென்றும் கொள்கையளவில் கண்டுபிடித்தனர். இவற்றையே ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட (excess of unity) சுழற்சியுடைய முதலாவது துகள்களாகும்.

ஒரு முக்கோண அமைப்பில் அடித்தளத்தில் 4 டெல்டா ஹைபெரான்கள் அதற்கு மேல் மூன்று ஒத்ததிர்வு Σ-ஹைபெரான்

கள், அதற்குமேல் 2 ஒத்ததிர்வு Ξ-ஹைபெரான்கள் இருப்பதைக் காணலாம். ஆனல்; உச்சி காலியாக உள்ளது. பத்தாவது துகளில்லை.

கெல்மான் என்பவர் இதை ஆராய முற்பட்டபொழுது உச்சித் துகளுக்கு சுழற்சி 3/2 இருக்கவேண்டுமென எண்ணினர். மேலும், அதன் மின்னூட்டம் (– ve) எதிர் குறியுள்ளது. ஐசோடோப் சுழற்சி, 0 வாகவும் நிறை முன் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஏடா மெசான் போல் 1,080 எலெக்ட்ரான் நிறையாகவும் இருக்க வேண்டும் என்ருர். ஒமேகா (– ve) மைனஸ் என்று பெயரிடப்பட்ட இத் துகள் 3,300 எலெக்ட்ரான் நிறையுடன் 10^{-20} செகண்ட் வாழ்வு நேரம் கொண்ட உண்மைத் துகள்தான் என்று கண்டனர். அதன் சுவடை, எப்படியாவது குமிழ் அறையில் (bubble chamber) பார்க்கலாமென்று முயன்று 1964-ல் பருக்ஹேவன் ஆய்வுக் கூடத்தில் பல்லாயிரக் கணக்கான புகைப் படங்களெடுத்து, அவற்றில் ஒன்றில் அதைக் கண்டனர்.

படத்தில் சிக்கலான சுவடுகளில் இப் பகுதியைக் காணலாம்.

க்வார்க் எனப்படுபவை

துகள் தொகுப்புமுறையில் வெற்றிகளைத் தந்தது, ஒமேகா ஹைபெரானின் கண்டுபிடிப்பு. துகள் இயலில் புது சகாப்தம் துவக்கப்பட்டதெனலாம். மெண்டலீஃப் என்பவரின் தனிம அட்டவணையைப்போல, இப்பொழுது துகள் தொகுப்புகள் முக்கியத்துவம் பெற்றன. தனிம அட்டவணையில் சிறப்பிடம்பெறும் எட்டு என்ற எண், துகள்களிலும் இடம்பெறும் என்று கூறமுடியாது. தனிமங்களின் வேதியியல் பண்புகளை விளக்கியதே குவான்டம் இயல்தான். ஓர் அணுவின் வெளி ஓட்டில் எட்டு எலெக்ட்ரான்கள்தான் இருக்கமுடியும் என்று கணக்கிட்டு அணுக்களின் பண்புகளை விளக்கினர். ஆனல், துகள்களுக்கு விதிகள் வேறு. அடிப்படை விதிகள் தெரியாததால் சுற்றி வளைத்துதான் விளக்கம் தரமுடியும். அத்தகைய வழிகளில், ஒருமைச் சமச்சீர் (unitary symmetry) ஒன்ருகும். நூற்றுக்கணக்கான துகள்கள், ஐசோடோப் சுழற்சி, ஒருமைச் சமச்சீர் இவற்றைக்கொண்டே வகைப்படுத்தப்பட்டன. இத்தனைத் துகள்களைப் பல இடையீட்டு விளைவுகளினுல், பிறப்பிக்கும் அடிப்படைத் துகளுண்டா என்ற வின எழுகிறது. அத்தகைய துகள்களுண்டென்று சில ஆண்டுகளுக்குமுன் சகாடா (Sakata) என்ற ஜப்பானிய இயற்பியல் வல்லுநர் கூறியுள்ளார். நியூட்ரான், புரோட்டான், லாம்டா ஆகிய ஹைபெரான் மூன்றையும் அடிப்படைத் துகள்களென்ருர். சம விளைவுக் கொள்கை பின்பற்றப்படாத வலிமை குறைந்த

இடையீட்டுச் செயல்களைப்பற்றிக் கண்ட பல விவரங்களும் இக் கருத்தை நிலைநாட்டின.

ஆனால், இம் மூன்று துகள்களையும் அடிப்படையாகக்கொண்ட தொகுப்புகளில் (6) ஆறு அல்லது (15) பதினைந்து துகள்களிருக்க வேண்டும். சோதனைகளில் இந்த எண்ணிக்கை காணப்படாததால் சகாடாவின் கொள்கை கைவிடப்பட்டது.

ஆனால், சமீப காலத்தில் மேலும் மூன்று அடிப்படைத் துகளைப்பற்றிய கருத்து இயற்பியலார் கவனத்தைக் கவர்ந்தன. ஆனால், இவை சகாடா கூறிய துகள்கள் அன்று. இன்றும் அவை கண்டுபிடிக்கவில்லை.

கெல்மான், ஸ்வைக் என்பவர்கள் அவற்றிற்கு 'க்வார்க்' என்று பெயரிட்டனர். அவை வியக்கத்தக்கப் பண்புகளுடையவை. அத் துகளின் அதிசயத்தன்மை (strangeness) முழு எண்ணல்ல, பின்னம். மின்னூட்டமும், எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தின் 1/3, 2/3 பகுதி ஆகும். எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டமே மிகச் சிறியதென்றும் அதைப் பின்னமாக்க முடியாதென்றும் எண்ணி வந்தோம். இப்பொழுது க்வார்க்குகள் அதைத் தகர்த்து விட்டன.

ஆனால், இன்றும் எலெக்ட்ரானைப்போல் 6,000 மடங்கு நிறையுள்ளவை எனக் கருதப்பட்ட இத் துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. நமக்குத் தெரிந்த மிக அதிக நிறையுள்ள ஒத்ததிர்வுத் துகள்கள் 5,000 மடங்கு எலெக்ட்ரான் நிறையே உள்ளன. இருந்தாலும் க்வார்க்குகள் கண்டுபிடிக்கப்படலாம்.

பழைய எண்ணங்கள் முற்போக்கை எதிர்க்கின்றன

பருப்பொருள், புலம் இவற்றின் ஒன்றுகலந்த தன்மை இயற்பியலாரைக் குழப்பிக்கொண்டே வந்தது.

குவான்டம் இயல் வளரும்பொழுது, பழங் கொள்கையின் கருத்துகள் துகள் உலகத்திலும் தொடர்ந்தே வந்தன. ஸ்ரோடிஞ்சர் சார்பில் புதிய கருத்து, நிகழ்திறன் அலைகள் என்பதுதான். முதலில் இக் கருத்து, பயனளித்தது. தெளிவின்மைக் கொள்கை, துகளின் இடம், வேகம், ஆற்றல், நேரம் இவற்றைப் பழைய முறையில் கண்டுகொள்ள முடியாதென்பதை உணர்த்திற்று.

துகள்களின் ஆற்றல், மிகுதியாகும்பொழுதும், ஒரு துகள் மற்றொன்றுடன் மோதும்பொழுதும் பல சிக்கல்கள் எழுந்தன. குவான்டம்

இயலால் இவற்றிற்கு ஈடு கொடுக்கமுடியவில்லை. துகள்களின் இடம், நேரம் இவற்றைப் பொருத்த இயக்க விதிகளை வகுக்க, மேலே விவரிக்கப்பட்ட முறையால் இயலவில்லை.

நிலைமையைச் சற்று யோசிப்போம் ஒரு துகளிருக்கிறது. பிறகு மற்றொன்று அல்லது பல துகள்களைப் பெறுகிறோம். அல்லது துகள்களுக்குப் பதில் ஃபோட்டான்கள் கிடைக்கின்றன. இயல்பாகவே அலைச் சார்பினால் இம் மாற்றத்தை விவரிக்க இயலவில்லை. குவான்டம் எந்திரவியலின்படி மாற்றமானது ஒரு புள்ளியில், உடனுக்குடன் ஏற்படவேண்டும். இதன் பயனாக மற்றொரு துகளோ அல்லது ஃபோட்டானோ கிடைக்கிறது. இதற்கு முன்பு கூறப்பட்ட அலைச்சார்பு ஒத்துவராது.

இந் நிலையில் குவான்டம் எந்திரவியல் என்ன செய்தது? ஆற்றல், உந்தம் இவற்றின் அறிவின்மைக் கொள்கைகளை எடுத்துக் கொண்டு, பழைய, புது இயக்கக்கொள்கைகளை இணைத்து இம் மாற்றத்தை விளக்க முற்பட்டது.

இம் முயற்சியில் கீழ்க்கண்ட இரண்டு குறைபாடுகளிருந்தன. ஒன்று: மாற்றமானது ஒரு புள்ளியில் நிகழ்வதால், துகளானது மாற்றமடையும்போது இயக்கத்திலில்லை. இரண்டாவது: ஒரு மாதிரியான துகள் மறைந்து வேறொரு துகள் தோன்றுகிறது. ஆனால், பயன்படுத்தப்படும் இயக்கச் சமன்பாடுகள் ஒரே மாதிரியான துகள்களுக்கே உரித்தவையாயிருக்கின்றன.

பழைய கருத்துகளைக் குவான்டம் இயலிலும் பயன்படுத்துவதால் இந்த நிலை ஏற்பட்டது. ஓரளவு மாயச்செயல் கருத்தினால் துகள் மாற்றங்களைக் குவான்டம் இயல் விளக்கிற்று. இம் முறையும் எல்லாப் பிரச்சினைகளையும் தீர்க்கவில்லை. இடம், காலம் இவற்றைப் பற்றியப் பழங் கருத்துகளை முழுமையாக மாற்றிக்கொள்ள வேண்டிய கட்டம் உருவாகிற்று.

வெளிப்படையாகத் தெரிவதின் பின்புறம்

சிறு துகள்களின் ஆய்வுகளிலும் நேரமும், இடமும் தேவைப்படுகின்றன. ஆனால், இவற்றை எப்படித் தவிர்ப்பது? ஐன்ஸ்டீன் 50 ஆண்டுகளுக்குமுன் விளக்கியவாறு நேரம், இடம் இவற்றை திருத்தியமைத்துக் கொள்ளவேண்டும். வெளியுலகுக்கேற்ற, அவருடைய கருத்துகளை, சிறு துகளுலகிற்கேற்றவாறு விரிவு படுத்திக் கொள்ளலாம்.

காலம், இடம் என்பவையின் உட்பொருளென்ன? இடமென்பது, பொருள்களை மனிதன் பார்ப்பதாலேற்படுவது. பொருள்

களிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் கண்களுக்குப் புலனாகின்றன. இதுமட்டும் போதாது. பொருள்களைத் தொட்டு அவைகளிருப்பதை உணர்கிறோம். முழு இருளில், பொருள்களே நம்மைச் சுற்றி இல்லையென்றால் இடம், வெளியென்பதன் எண்ணமே நமக்கு இராது.

நாம் புலன்களாலுணர்ந்து விவரிப்பது பல்லாயிரக்கணக்கான உணர்வுகளின் சராசரியாகும். இவைகளிலொன்றைத் தனியாகப் பார்க்கும்பொழுது குவான்டம் இயலின் சிறப்புகள் வெளியாகின்றன.

இது மட்டுமன்று. நம்மைச் சுற்றி எவ்வகை மாறுதல்களும் ஏற்படாவிட்டால் காலமென்னவென்பது புலனாகாது. ஏற்கெனவே, தகுதிநேரம் என்பது மெல்ல அல்லது வேகமாக நிகழும் நிகழ்ச்சிகளால் பாதிக்கப்படுவதைப் பார்த்தோம்.

எங்கும் நிலவும் குவான்டம்

காலம், இடம் இவற்றைப்பற்றிய புதிய கருத்துகள், 30 ஆண்டுகளாக விவாதிக்கப்பட்டு வந்தன. ஆனால், இன்றும் இயற்பியலாரால் முழுதும் ஒப்புக் கொள்ளப்படவில்லை; சோதனைகளினால் உறுதிப்படுத்தப்படவில்லை.

சிறு துகள்களுக்கேற்ற காலம், இடம் இவற்றின் அடிப்படை என்னவென்றால் இப் பண்புகளும் குவான்டம் இயல் பாகுபாட்டுக்கு உட்படவேண்டுமென்பதே. இவ் விரண்டும் தொடர்ச்சி இழந்து, சிறு துண்டுகளாக்கப்படுமா? சிறு துகள்களின் ஆற்றல், உந்தம் இவற்றைச் சார்ந்த சிறு சிமிழ்களாக, காலமும் வெளியும் குறிக்கப்படவேண்டும். இச் சிமிழ்களின் நீளம், காலம் இவற்றை அளக்க 10^{-13} செ.மீ., 10^{-23} செகண்ட் போன்ற அலகுகள் வேண்டும். இன்னும் சிறிய அலகுகள் தேவைப்படுமெனச் சில அறிவியலார் எண்ணுகின்றனர். இச் சிறு அலகுகளைப் பயன்படுத்தும் கருவிகளுண்டா? இக் கருவிகளிருந்தாலும், அளக்கும் பொழுதே, மிகச் சிறு துகள்களை அவை மாற்றிவிடுமே! மிகச் சிறு சிமிழ்களாகக் காலத்தை, வெளியைப் பகுப்பதால் பயனுண்டா? எந்தத் தடையையும் கடப்பதில் இன்னல்களிருப்பது எதிர் பார்த்ததுதான். புதுப் பிறப்பைப் படைக்கையில் பெருமளவில் துன்புறுவது இயற்கையே. மேலும்மேலும் பெருந் தடைகள் தோன்றிக்கொண்டே வருகின்றன.

குவான்டம் இயலிலிருந்து...?

கண்டறியமுடியாத உறுதிப்பாடுகள்

துகள்களின் பண்புகளான நிறை, மின்னூட்டம், சுழற்சி, சமவிளைவு இவற்றிற்கு, ஒன்று மற்றொன்றைச் சாராத வரையறை அல்லது விளக்கங்கூற முற்படலாம். அம் முயற்சியில் வெகுதூரம் செல்லமுடியாது. ஒருவருக்கும் இப் பண்புகளின் அடிப்படையில், உட்பொருள் என்ன இருக்கிறதென்பது தெரியாது.

குவான்டம் இயலிலும் இதே நிலைதான் தற்போது உள்ளது. புதிதாகப் பயன்படுத்தப்பட்ட சுழற்சி, சமவிளைவென்பவற்றின் அடிப்படைப் பொருள் என்னவென்பது தெரியாது.

நிறை என்றால் என்ன? முதலில் நிறை என்பதைப் பருப்பொருளின் கனத்தால் அல்லது பரிமாணங்களால் நிர்ணயித்தோம். அல்லது ஒரு பொருளிலுள்ள மொத்த அணுக்கருக்கள் என்று அதைக் கருதலாம். அணுக்கருக்களின் நிறையை அதிலுள்ள புரோட்டான், நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையாகக் கருதலாம். ஆனால், புரோட்டானின் நிறை என்பதென்ன? அதைப் பகுதிகளாகப் பிரிக்கமுடியாது. அது எப்பொருளாலானது? இவ் வினாக்களுக்கு விடைகளைச் சரியாகக் கூறமுடியாது.

புரோட்டானின் நிறை 10^{-24} கிராம் என்கிறோம். ஒரு கிராம் பொருளில் 10^{-24} புரோட்டான்களுள்ளன என்பதையே அது குறிக்கிறது. நிறை என்ற பண்பைத் துகள்களின் எண்ணிக்கையால் வரையறுக்க முயல்வது வீண் முயற்சியே.

ஒரு பொருளின் நிறையை, அது தன்னிலையை மாற்றும் வகைகளை எப்படி எதிர்க்கிறது, அதாவது அதன் சடத்துவம்(inertia) என்பதாலும் வரையறுக்கலாம். தன்னிட மாற்றத்தை எந்த அளவு ஒரு பொருள் தடுத்துக்கொண்டு நிற்கிறதோ அதை அதன் நிறையாகக் கூறலாம். இவ் விளக்கமும் சரியானதன்று. ஒரு புரோட்டானின் வேகம், புலத்தால் அதிகரித்தால் அதன் நிறை

கூடுகிறது. வேகம் குறைகையில் நிறை குறைகிறது. புலம் இதை ஏற்றுக்கொள்கிறது. இவ்வாறு மாறுதலுறும் பண்பை நிறை என்று உணர்த்துவதும் தவறே.

நிறையை எதைக் கொண்டாவது அளக்கவேண்டும். சார்புக் கொள்கையில் புரோட்டான் நிறையை அதன் நிலைநிறை, அதன் வேகத்திற்கும் ஒளிவேகத்திற்குமுள்ள விகிதம் $\left(\frac{w}{c}\right)$ இவற்றைக் கொண்டு நிர்ணயிக்கலாம்.

ஒரு குறிப்பிட்ட துகளின் நிலைநிறை (rest mass) அதன் மாறுத பண்பென்றால் ஒவ்வொரு துகளுக்கும் ஒரு நிலைநிறை உண்டென லாம். நிலைநிறையைச் சடத்துவத்தின் அளவெனலாமா? சாதாரண இயக்கமின்றி, துகள் மாறுதலாவதை (transformation) எடுத்துக் கொண்டால், நிலைநிறை சடத்துவத்தைக் குறிக்கிறது. இயக்க ஆற்றல், நிலைநிறை ஆற்றலைவிட மிக அதிகரித்தால், துகள் புலம் குவான்டமாவதை முன்பே பார்த்தோம். சில இலேசான துகள்கள் எளிதில் இத்தகைய மாறுதலை அடையும். நிலைநிறை அதிக முள்ளவை; நிலையானவை என்று கூறலாம். மாயப்புலக் குவான் டங்களின் ஆற்றல்களைக் கணக்கிடுவதிலும் நிறை பங்கு கொள் கிறது. ஆக, நிறை என்பதே ஒரு சிக்கலான பண்பெனத் தெரிகிறது.

நிறை, இடையீட்டுச் செயல்களையும் கட்டுப்படுத்துகிறது. ஒரு துகளின் மற்றப் பண்புகள் மேலும் சிக்கலானவையாகத்தான் இருக்க வேண்டும். இன்று துகள்களின் உள்தன்மையைக் காணத் தடையாக உள்ளது, பருப்பொருள், புலம் இவற்றின் உறவேயாகும்.

ஒரு நூற்றாண்டுக்குமுன், இயற்பியலார், புலங்களைப்பற்றி ஆராய்ந்தபொழுது பருப்பொருளுக்கே முக்கியத்துவம் கொடுத் தனர். காலப்போக்கில் புலத்துக்கும் பருப்பொருளுக்கும் உள்ள வேறுபாடின்மையை உணர்ந்தனர். ஐன்ஸ்டீன் கொள்கையை ஏற்று, புலமே முக்கியமானது, பருப்பொருள்கள் புலத்தின் சிறு புள்ளிகளென்றுகூடக் கூறினர்.

பலவகைப் புலங்கள், துகள்கள் யாவற்றையும் ஒருங்கிணைக்க வல்ல, புலக் கொள்கையொன்றை நிலைநாட்ட ஐன்ஸ்டீன் பல ஆண்டுகள் பாடுபட்டார். ஆனால், அவர் வெற்றி காணவில்லை.

புலம் என்பதும், பருப்பொருள் என்பதும், இயற்கையிலுள்ள எல்லாவற்றையும் விளக்கவல்லனவா ? பெரிய பொருள்களையும் நிகழ்ச்சிகளையும் காணும் மனிதனால் மிகச் சிறு துகள்களின் பண்பு

களைக் கண்டறிய முடியுமா? இயற்கையின் விதிகளில் உட்கருத்து களின் உண்மைகளை மெல்ல மெல்ல அறிந்துகொண்டு வருகிறான் மனிதன். ஆனால், இம் முயற்சி முடிவற்றது. நாம் கண்டறியாதன இருந்து கொண்டேதானிருக்கும்.

இந் நிலையில், புலம், பொருள் இரண்டையும் ஒரு நாணயத்தின் இருபக்கமென்றுதான் கருதவேண்டும். பிரிக்க முடியாத எதிர்த் தன்மையுள்ளவை அவை.

இத்தகைய கருத்துப் பயனளித்ததென்றே கூறலாம். ஆனால், இயற்பியலார் ஏன் இதைப்பற்றி விவாதித்துக் கொண்டேயிருக் கின்றனர். இயற்பியலாரில் பலர் வாதமுறை (Dialectics) என்ற தத்துவத்தைப் புரிந்துகொண்டவரில்லை. இயற்கையின் விதிகள் மனிதனின் உள்ளத்தில் ஏற்படுபவை என்றே நினைக்கின்றனர். இத்தகைய எண்ணத்தால், சில அறிவியல் வல்லுநர்கள் இயற்பியல் கண்டுபிடிப்புகளுக்கு முக்கியத்துவம் தருவதில்லை. இவர்கள் உலகை, நாம் அறிய முடியாத தொன்றென எண்ணுகின்றனர். நாம் தினசரி வாழ்க்கையில் காணும் உலகுக்கும் மிகச் சிறு துகள்கள் அலகுக்கும் அடிப்படை வேறுபாடுகளிருப்பதால் இந்த எண்ணம் இன்னும் நிலவி வருகிறது. மேலும், மிகச் சிறு துகள் களைப்பற்றிய விவரங்களை நேரில் கண்டறிய முடியாத நிலையில் இருக்கிறோம்.

அறிவியல் வளர்ச்சியில், புதிய கருத்துகள் சற்றுத் தாமத மாகவே தோன்றுகின்றன. மனிதன் சாதாரணமாகக் காண்ப வற்றைப்பற்றிய கருத்துகள் நன்கு பதிந்திருக்கும். அவற்றை மாற்றுவது எளிதன்று. துகள்போலில்லாதவற்றைத் துகளென்றும், புலம் போலில்லாதவற்றைப் புலமென்றும் குறிப்பிடுவதும், எண்ணுவதும் அவ்வளவு எளிதல்ல.

குவான்டம் இயல், பழைய கருத்துகளை, புதிய அலைத்துகள், பாசிட்ரான் துளை (hole), மெசான் குவான்டம் போன்ற கருத்து களுடன் இணைத்தது. ஆனால், இயற்பியலாரின் மனத்தில் இவ் இரட்டைப் பண்புள்ள பொருள்கள் நன்கு பதியவில்லை. எதிர் காலத்தில் விரைவில் இக் கருத்துகள் நிலைபெறலாம்.

குவான்டம் இயலின் வளர்ச்சி வரலாறு

குவான்டம் இயலின் கடந்த அறுபதாண்டு வளர்ச்சியை மூன்று பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம்.

முதல் இருபத்தைந்து ஆண்டுகளில் பிளாங்க்கின் அலை பருப் பொருள் பண்பிலிருந்து, டி பிராலியின் பருப்பொருளின் அலைப்

பண்புவரை வளர்ந்தது. இதே காலத்தில் ஐன்ஸ்டீன், போர் இருவரும் ஒளித்துகள்களின் (photons) பண்புகளைக் கண்டுபிடித்தனர்.

1924-ல் டி பிராலியின் கண்டுபிடிப்பிலிருந்து ஏற்பட்ட வளர்ச்சி அடுத்த கட்டம். இக் கட்டத்தின் முதல் ஐந்தாண்டுகளிலேயே டிராக், குவான்டம் இயலேயும் ஐன்ஸ்டீனுடைய சார்புக் கொள்கையையும் இணைத்து, புதுக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தவல்ல ஒரு கருவியாக்கினுர். இரண்டாவது உலகப்போர் வரை அணுக்கருவியல் வளர்ச்சி ஒரு முழுமையை அடைந்தது.

அடுத்த மூன்ருவது கட்டம் இரண்டாவது உலகப்போருக்குப் பின்னேற்பட்ட வளர்ச்சி. குவான்டம் இயல், துகளுடன் நிற்காமல் புலத்துக்கும் பயன்படுத்தப்பட்டது. பல வெற்றிகளேயும் கண்டது. பெருங் கட்டங்களேயும் சமாளிக்கவேண்டியிருந்தது. சிறு துகள்களின் அமைப்புகளும் இடையீட்டுச் செயல்களும் தெளிவுபடுத்தப் படவில்லே. செயல்முறைகள், கொள்கைகளின் வரையறையைக் கடந்து முன்னேற்றமடைந்துள்ளன.

குவான்டம் இயல் துகள்களின் உட்பொருள்களேப்பற்றிய பிரச்சினேகளேத் தீர்க்கவில்லே. அந்த இயல், புதுப்பிக்கப்பட வேண்டும். ஆனல், அடிப்படைக் கூற்றுகளேத் தகர்க்கவல்ல கண்டுபிடிப்புகளொன்றுமில்லே. சில விளேவுகளே அதனல் விளக்க முடியவில்லேயாதலால், அக் கொள்கையைச் சற்று விரிவுபடுத்தவேண்டியிருக்கும்.

அக் கொள்கையை வலிவுபடுத்த புதுக் கூற்றுகளே உருவாக்கவேண்டும். சில காலத்திற்கு இக் கருத்துகளே இயற்பியலார் ஏற்கமாட்டார்கள். எல்லோராலும் ஏற்றுக்கொள்ளப்படுமளவு வலிமையுள்ள கருத்துகளே நாம் கண்டதில்லே; காணப்போவதுமில்லே.

எக் கொள்கைக்கும் பிறப்பு, கடினமான பிரச்சினேகளேத் தீர்க்கவல்ல இளமை, முழு வளர்ச்சிபெற்ற அமைதியான நிலே, வலிமை குறைந்த முதுநிலே என்ற பகுதிகளுண்டு. முழு வளர்ச்சியடைந்த நிலேயில், ஒரு கொள்கை தொழில், தொழில்முறைகள், வேறு பல துறைகள் யாவற்றிலும் அனேத்துச் செல்வாக்குடன் இருக்கும்.

முதிர்ந்த நிலேயில் ஒரு கொள்கை தன்னுலே விளேவுற்ற கண்டுபிடிப்புகளேயும் உண்மைகளேயுமே தாங்கவல்ல ஆற்றலிழந்து நிற்கும். கொள்கையின்அமைப்பில் இடம்பெறமுடியாத பல புதுக் கருத்துகள் வளர்ந்து பழையதைத் தகர்த்து முன்னேறிச் செல்லும் நிலே உருவாகும்.

இப்பொழுது நாம் அந் நிலையில்தான் இருக்கிறேம். முழு வளர்ச்சியடைந்து வயோதிகத்தையடைந்துவிட்டது குவான்டம் இயல். விண்மீன்களினமைப்பிலிருந்து அணுக்கரு, அடிப்படைத் துகள்கள்வரை பல சிக்கல்களைத் தீர்த்த பெருமை அதைச் சாரும். அதனுடன் போட்டியிடத்தக்க கொள்கை தற்போது வேறொன்று மில்லை. ஆனல், அத்தகைய கொள்கையொன்று தற்போது தேவைப்படுகிறது.

பல இயற்பியலார் நாமறிந்த கொள்கையைக் கைவிட்டு, புது வழியில் செல்வோம் என்று நினைக்கின்றனர். புத்தி தடுமாற்ற முறச் செய்யும் புதுக் கருத்துகள் தேவை என்று கூறுகின்றனர். பலர், குவான்டம் இயல் முதலில் தோன்றியபொழுதும், இவ்வாறு தான் கருதினர். எவரென்ன நினைத்தாலும் இயற்பியல் தற்போது, ஒரு புதிய முன்னேற்றத்தின் தொடக்கக் கட்டத்திலிருக்கிறதென்ப தில் ஐயமில்லை. அந்தப் பாதையின் மைல்கற்கள் அறிவியலாரின் முன் தெளிவாகத் தெரிகின்றன.

அவையாவன: தெரிந்த, தெரியாத அடிப்படைத் துகள்கள் ஒருங்குசேர்ந்த ஓர் அமைப்பு. துகள்களின், அவற்றின் உட்பண்பு களின் விளக்கம், அணுக்கரு விசைகளின் பண்புகள், பருப்பொருள், புலம் இவற்றின் வரையறுக்கப்பட்ட விதிகள், உறவுகள், இயங்கும் பொருள்களைப்பற்றிய ஆற்றல், நேரம், வெளி (space) போன்றவற்றின் தொடர்புகள், சிறு துகள்கள் உலகத்தில் இத் தொடர்புகளை நிர்ணயிக்கும் உட்பொருள்.

குவான்டம் இயல் பிறந்து, வளர்ந்து, அறிவியலின் வலிமை யுற்ற கருவியானதைப்பற்றி இதுவரை பார்த்தோம். மிகச் சிறு துகள்கள் உலகத்தின் சிக்கல்களை அது எப்படிக் கையாளுகிறதென் பதையும் பார்த்தோம். இன்றைய சிக்கல் மிக மிகச் சிறு பொருள் களைப் பற்றினதுதான்.

குவான்டம் இயலின் மறுபிறப்பு

அறிவியலின் ஒவ்வொரு பகுதிக்கும் இரண்டு வாழ்வுகாலங் களுண்டு. ஒன்று அதன் கருத்துகள், விதிகள், வாய்பாடுகள், தத்துவம் இவற்றைச் சார்ந்தது. அடுத்தது, அக் கொள்கை மனித சமுதாயத்தில் தொழில்நுட்ப வளர்ச்சிக்குப் பயனளிக்கும் கருவி யாவது.

எவ்வளவுதான் மனத்தால் மட்டும் எண்ணியறியக்கூடிய தத்துவமாயிருந்தாலும், மனிதனின் தினசரித் தேவைகள் உலகத்தில் அக் கருத்து இடம் பெற்றுத்தான் ஆக வேண்டும்.

கார்ல் மார்க்ஸ், தத்துவ ஞானிகளைப்பற்றிக் கூறியது அறிவியலுக்கும் பொருந்தும்.

ஒவ்வொரு கண்டுபிடிப்பும், மனித அறிவை வளர்த்து, இயற்கையை வெல்வதற்குரிய வல்லமையைத் தருகிறது. ஒரு புதுக் கருத்துத் தோன்றுவதற்கும் அது மனிதனின் தேவைகளுக்குப் பயன்படுவதற்கும் இடைக்காலம் குறைந்துகொண்டே வருவதை அறிவியல் வரலாற்றில் காண்கிறோம்.

அறிவியல் பின்னெழக்கூடிய சிக்கல்களை முன்கூட்டியே கண்டு வருகிறது. இது மனித சமுதாய வளர்ச்சியின் அடிப்படை. வியப்பானது ஒன்றுமில்லை. ஒரு பிரச்சினை முழு வளர்ச்சியடைவதற்கு முன்பே அறிவியல் அதன் தீர்வைக் காண முன்னேக்கிச் செல்கிறது. குவான்டம் இயல் வளர்ச்சியிலேயே இத் தன்மையைப் பார்த்தோம்.

குவான்டம் இயலின் தொடர்ந்து வளர்ந்துவரும் இரண்டாம் வாழ்வு காலத்தைப் பார்ப்போம்.

1912-ல் அணுக்கருக்களைப்பற்றிய கருத்து உருவாயிற்று. இருபது ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு தெளிவடைந்து, அணுக் கருவிலுள்ள துகள்களென்ன, விசைகளென்ன என்பவை கண்டு பிடிக்கப்பட்டு விளக்கம் தரப்பட்டன. அணுக்கருவை நெருங்க முடியாத நிலை இயற்பியலாருக்குத் தடையாக நிற்கவில்லை. 13ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு, உலகின் அணுக் காலம் (atomic age) தொடங்கிற்று. இக் காலம் ஜப்பான் நாட்டின் ஹிரோஷிமா, நாகசாகி நகரங்களை அழித்த அணுகுண்டுடன் தொடங்கினது உண்மைதான். ஆனல், சில ஆண்டுகளில் (1954-ல்) ருஷ்ய நாட்டில் அணுவாற்றலை மின்சார உற்பத்திக்குப் பயன்படுத்தினர்.

குவான்டம் இயலின் தொழில்நுட்பப் பயனை அணு உலையில் காண்கிறோம். மேலும், இலேசான அணுக்களைப் பயன்படுத்தி ருஷ்ய இயற்பியலார் வெப்ப அணுக்கரு உலையில் (thermo-nuclear reactor) மின்சார உற்பத்தி செய்தனர். மக்கள் நலனே சோவியத் நாட்டு அறிவியலாரின் குறிக்கோள். கடும் பிரச்சினைகளைத் தீர்க்க வல்ல சாதனங்களை எதிர்காலத்தில் அறிவியலார் பயன்படுத்துவரென்பதில் ஐயமில்லை.

ஐயோஃப் (Ioffe) என்ற ருஷ்யர் குவான்டம் இயலைப் பயன்படுத்திக் குறைகடத்தியின் வியக்கத்தக்க பண்புகளை எடுத்துக் காட்டினர். பருப்பொருள்களின் பட்டைக் கொள்கை (Band Theory) குவான்டம் இயலில் முக்கியப் பகுதியாகும். அதன் அடிப்

படையில் பல்லாயிர இயற்பியலாரும், பொறியியலாரும் மின்னணு வியலில் ஆய்வுகள் நடத்திப் பல தொழில்துறைகளில் நம்ப முடியாத அளவு முன்னேற்றங்கள் செய்துள்ளனர்.

குறைகடத்திகளைக்கொண்டு சூரிய ஆற்றலைப் பெருமளவில் பயன்படுத்த முயன்றுவருகின்றனர். சூரிய மின் தேக்கிகளை (solar batteries) பெரும் பரப்பில், ஒரு தடங்கலுமின்றி வைத்துப் பயன்படுத்த, சந்திரனின் பரப்பு உகந்ததென்று கருதுகின்றனர். ஆனால், அங்கிருந்து எப்படி ஆற்றலை உலகுக்குக் கொணர்வது? பத்தாண்டுகளுக்குமுன் பாப்ரிகாந்த் என்ற ருஷ்ய இயற்பியலார் மின்காந்த அலைகளை ஒரு குவான்டம் பெருக்கியின் (quantum amplifier) வாயிலாகக் கொணரலாமென்ற எண்ணத்தைத் தெரிவித்தார். இக் கருத்தின் விளைவே, குவான்டம் பெருக்கி, குவான்டம் அலையியக்கி, மேசர், லேசர் போன்ற கருவிகள். அறிவியல் கட்டுக்கதைகள் நடைமுறை உண்மைகளாகிவிட்டன.

இந் நூலின் தொடக்கத்தில் குவான்டம் இயல் விதிகளினால் அணுவிலிருந்து மின்காந்த அலைகள் எப்படி வெளிவருகின்றன என விளக்கினோம். இக் கருத்து நன்கு நிலைநாட்டப்பட்ட பிறகு, அதை மறுபடியும் நினைத்துப் பார்க்கவில்லை.

ஆனால், 1950-ல் ஒரு புதுக் கோணத்தில் ஆராயப்பட்டு மறு பிறவி பெற்ற இக் கருத்தின் அடிப்படையில் பல வியக்கத்தக்க கருவிகள் உருவாக்கப்பட்டன. குவான்டம் இயலினால் தோன்றிய சில சாதனைகளையே இதுவரை பார்த்தோம். தொழில்துறையிலும் தொழிலியலிலும், குவான்டம் இயல் முன்னேறிக் கொண்டே வருகிறது. அதன் மறுபிறவியின் சாதனை எண்ணிலடங்கா. அதன் தொடக்கத்தையே இப்பொழுது காண்கிறோம். எதிர் காலத்தில் கற்பனைக் கெட்டாதவற்றைக் காண்பது உறுதி.

கலைச்சொற்கள்

A

Absolute	—	தனி, சார்பிலா
Accelerator	—	முடுக்கி
Acceptor	—	ஏற்பி
Action	—	வினை, செயல்
Alpha rays	—	ஆல்ஃபாக் கதிர்கள்
Amplifier	—	பெருக்கி
Angular momentum	—	கோண உந்தம்
Annihilation	—	அழிவு
Antineutrino	—	எதிர் நியூட்ரினோ
Antinode	—	எதிர்க் கணு
Antiparticle	—	எதிர்த் துகள்
Anti proton	—	ஆன்ட்டி புரோட்டான், எதிர்ப் புரோட்டான்
Artificial disintegration	—	செயற்கைச் சிதைவு
Atomic model	—	அணு மாதிரியமைப்பு
Atomic number	—	அணு எண்
Atomic spectra	—	அணு நிறமாலை
Atomic weight	—	அணு எடை

B

Band spectrum	—	பட்டை நிறமாலை
Barrier	—	தடுப்பு, அரண்
Barrier potential	—	தடுப்பு மின்னழுத்தம்
Beta rays	—	பீட்டாக் கதிர்கள்
Beta particles	—	பீட்டாத் துகள்கள்
Binding energy	—	பிணைப்பாற்றல்
Bound electron	—	கட்டுண்ட எலெக்ட்ரான்

Black-body radiation — கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு
Bubble chamber — குமிழ்க்கலம்

C

Calcite — கால்சைட்
Carrier of charge — மின்னூட்ட ஊர்திகள்
Chain reaction — தொடர்வினை
Characteristic X-Rays — சிறப்பு X-கதிர்கள்
Charge — மின்னூட்டம்
Charge density — மின்னூட்ட அடர்த்தி
Charge distribution — மின்னூட்டப் பகிர்வு
Chemical reaction — வேதியியல் வினை
Circular orbit — வட்டச் சுற்றுப்பாதை
Classical Theory — முதுபழங்கொள்கை
Classification — வகைப்படுத்துதல்
Cloud chamber — முகிற்கலம், மேகக்கலம்
Combination Principle — கூட்டுத் தத்துவம்
Compound nucleus — கூட்டு அணுக்கரு
Conservation Law — அழிவின்மை விதி
Constant — மாறிலி
Conduction band — கடத்தும் பட்டைகள்
Corpuscular Theory — துகள் கொள்கை
Correspondence Principle — ஒப்புமைத் தத்துவம்
Crystal — படிகம்
Crystal lattice — படிக அணிக்கோவை
Crystallographic axis — படிகவியல் அச்சு
Current density — மின்னோட்டச் செறிவு
Cyclotron — சைக்ளட்ரான்

D

Decay — சிதைவு, அழிவு
Detector — பகுப்பான்
Diffraction — விளிம்பு விளைவு
Diffraction pattern — விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம்
Dimension — பரிமாணம்
Discharge of electricity — மின் இறக்கம்
Disintegration — சிதைவு
Dispersion — நிறப்பிரிகை
Dispersive power — நிறப்பிரிகைத் திறன்
Distortion — உருக்குலைவு

Donor — கொடையணு
Donor impurity — கொடையணு மாசு
Donor level — கொடை மட்டம்

E

Electric charge — மின்னூட்டம்
Electric polarisation — மின்தளவிளைவு
Electro-magnetic field — மின்காந்தப் புலம்
Electron — மின்னணு, எலெக்ட்ரான்
Electron diffraction — எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவு
Electron shell — எலெக்ட்ரான் ஓடு, எலெக்ட்ரான் கூடு
Electron spin — எலெக்ட்ரான் தற்சுழற்சி
Electron volt — எலெக்ட்ரான் வோல்ட்
Electron wave — எலெக்ட்ரான் அலை
Element — தனிமம், மூலகம்
Energy — ஆற்றல்
Energy level — ஆற்றல் மட்டம்
Exchange Theory — பரிமாற்றுக் கொள்கை
Exchange interaction — கொடுத்து வாங்கு இடையீட்டுச் செயல்
Excited state — கிளர்ச்சி நிலை
Exclusion Principle — தவிர்க்கைத் தத்துவம்

F

Face-centered — முகமைய
Field — புலம்
Field quanta — புலம் குவான்டங்கள்
Fine structure — நுண் வரியமைப்பு
Flourecence — ஒளிர்தல்
Forbidden lines — விலக்கப்பட்ட கோடுகள்
Frequency — அதிர்வெண்
Fundamental frequency — அடிப்படை அதிர்வெண்
Fusion — உருகுதல்

G

Gamma ray — காமாக் கதிர்
Geiger-Muller Counter — கைகர்-முல்லர் எண்ணி
Generator — இயற்றி
Geometry — ஜியோமிதி, வடிவியல்
Good conductor — நற்கடத்தி

Grating — கீற்றணி
Ground state — அடிநிலை, தளநிலை

H

Half-life period — அரை ஆயுள்காலம், அரை வாழ்வுக் காலம்
Hilicity — முறுக்கு
Hole — துளை
Homogeneous medium — ஒருபடித்தான ஊடகம்
Hyperon — ஹைபெரான்

I

Impact — மோதல்
Impurity — மாசு, வேற்றுப்பொருள்கள்
Indeterminacy — உறுதிப்பாடில்லாமை
Inertia — சடத்துவம்
Inner photo electric effect — உள்-ஒளிமின் விளைவு
Insulator — காப்பான்
Intrinsic — உள்ளார்ந்த
Internal energy — அக ஆற்றல்
Interaction — இடையீடு, இடையீட்டுச் செயல்
Ionisation — அயனியாக்கம்
Isotope — ஐசோடோப்
Isotropy of space — திசைச் சார்பிலாப் பண்புகள்

J

Junction — சந்தி

K

Kinetic energy — இயக்க ஆற்றல்
Kinetic Theory of gases — வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை

L

Laser — லேசர்
Lattice — அணிக்கோவை
Lattice distance — அணிக்கோவை இடைவெளித் தூரம்
Life-time — வாழ்வு நேரம், வாழ்வு காலம்
Light quantum — ஒளிக் குவான்டம்
Local levels — உள்ளிட மட்டங்கள்

M

Magnetron — மாக்னெட்ரான்
Maser — மேசர்
Mass — நிறை, பொருண்மை
Mass-energy equivalence — நிறை ஆற்றல் இணைமாற்று
Mass-energy relation — நிறை ஆற்றல் தொடர்பு
Mass number — நிறை எண்
Matter — பருப்பொருள்
Matter waves — பருப்பொருள் அலைகள்
Mean life — சராசரி ஆயுள்
Meson — மெசான்
Micro-waves — மைக்ரோ அலைகள்
Molecule — மூலக்கூறு
Momentum — உந்தம்

N

Negatively charged — எதிர் மின்னூட்டமுற்ற
Neutrino — நியூட்ரினோ
Neutron — நியூட்ரான்
Node — கணு
Nuclear model — அணுக்கரு மாதிரி அமைப்பு
Nucleus — அணுக்கரு
Nuclear field — அணுக்கருப் புலம்
Nuclear force — அணுக்கரு விசை

O

Orbit — சுற்றுப்பாதை
Order — வரிசை
Oscillation — அலைவு
Oscillator — அலையியற்றி

P

Pair production — இரட்டைத் துகளாக்கம்
Particle — துகள்
Parity — சமவிளைவு
Pauli's Exclusion Principle — பவுலி தவிர்த்தல் விதி, பவுலி தவிர்க்கை விதி
Periodic table — தனிம அட்டவணை
Phase — கட்டம்

Photons — ஃபோட்டான்கள்
Positive rays — நேர்மின் கதிர்கள்
Positron — பாசிட்ரான்
Potential barrier — மின் அழுத்த அரண்
Proper energy — தகுதி ஆற்றல்
Proper mass — தகுதி நிறை
Probability — நிகழ்திறன்
Protons — புரோட்டான்கள்

Q

Quantum — குவான்டம்
Quantum Theory — குவான்டம் கொள்கை
Quantum Mechanics — குவான்டம் எந்திரவியல்
Quanta of energy — ஆற்றல் கூறுகள்
Quarks — குவார்க்குகள்

R

Radiant energy — வீசுகதிர் ஆற்றல்
Radio-active decay — கதிர் இயக்கச் சிதைவு
Radio activity — கதிரியக்கம்
Reaction — எதிர்வினை
Relativity — சார்பியல்
Relativity Theory — சார்புக் கொள்கை
Resonance — ஒத்திசைவு
Rest mass — நிலை நிறை
Rest energy — நிலை ஆற்றல்
Rotor — சுழலி
Rydberg's Constant — ரிட்பெர்க் மாறிலி

S

Scattering — சிதறல்
Secondary electron — பின்வரு எலெக்ட்ரான்
Semi-conductors — குறை கடத்திகள்
Shell — கூடு, ஓடு
Solid State Physics — திண்ம நிலை இயற்பியல்
Special Theory of relativity — சிறப்புச் சார்புக் கொள்கை
Spin — தற்சுழற்சி
Stability — நிலைப்பாடு
Super conductivity — மீக்கடத்துதிறன்

Super conductor — மீக்கடத்திகள்
Strangeness — அதிசயத்தன்மை
Srtange particles — அதிசயத் துகள்கள்

T

Thermionic emmission — வெப்ப அயனி வெளியீடு
Theory of Exchanges — பரிமாற்றியல் கொள்கை
Tetrad — நான்குதுகள் சேர்க்கை
Transistor — டிரான்சிஸ்டர்
Transmutation — கருமாற்றம்
Tunnel effect — புழல் விளைவு, குகை விளைவு
Two body problem — இருபொருள் புதிர்

U

Ultra violet — புற ஊதா
Un-certainty Principle — தெளிவின்மைக் கூற்று, ஐயப்பாட்டுக் கொள்கை.
Uncharged — மின்னூட்டம் பெறாத

V

Vacuum — வெற்றிடம்
Valency — கூடுகை எண்
Valency band — கூடுகை எண் பட்டை
Vector model — வெக்டார் மாதிரி அமைப்பு
Vibrational energy — அதிர்வு ஆற்றல்
Vibrational spectrum — அதிர்வு நிறமாலை

W

Wave equation — அலைச் சமன்பாடு
Wave function — அலை அணிக்கோவை, அலைச் சார்பு
Wave Theory — அலைக் கொள்கை
Weight — எடை

X

X-rays — X-கதிர்கள்

Z

Zeeman effect — சீமன் விளைவு
Zero order — சுழி வரிசை
Zone — மண்டிலம்